



**SKRIPSI**

**KAJIAN KIMIAWI FRAKSI NAFTA DAN *LIGHT OIL* PRODUK PENCAIRAN BATUBARA SUB-BITUMINUS SUMATERA SELATAN**

**YOGI PRATOMO  
NRP. 1408 100 081**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. R. Y. Perry Burhan, M.Sc**

**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2014**



**SKRIPSI**

**THE CHEMICAL STUDY OF NAPHTHA AND  
LIGHT OIL FRACTION IN SUB-BITUMINOUS  
COAL LIQUEFACTION PRODUCTS FROM  
SOUTH SUMATERA**

**YOGI PRATOMO  
NRP. 1408 100 081**

**Supervisor  
Prof. Dr. R. Y. Perry Burhan, M.Sc**

**CHEMISTRY DEPARTMENT  
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2014**

**KAJIAN KIMIAWI FRAKSI NAFTA DAN *LIGHT*  
OIL PRODUK PENCAIRAN BATUBARA SUB-  
BITUMINUS SUMATERA SELATAN**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana pada Bidang Studi Kimia, Program S-1  
Jurusan Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**YOGI PRATOMO**  
**NRP. 1408 100 081**

Surabaya, 22 Januari 2015

JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015

**KAJIAN KIMIAWI FRAKSI NAFTA DAN *LIGHT*  
OIL PRODUK PENCAIRAN BATUBARA SUB-  
BITUMINUS SUMATERA SELATAN**

**SKRIPSI**

Disusun Oleh :

**YOGI PRATOMO**  
**NRP. 1408 100 081**

Surabaya, 22 Januari 2015

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing



**Prof. Dr. R. Y. Perry Burhan, M. Sc.**  
**NIP. 19590215 198701 1 001**

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Kimia



**Hantzah Fansuri, Ph.D.**  
**NIP. 19691017 199412 1 001**

# **KAJIAN KIMIAWI FRAKSI NAFTA DAN *LIGHT OIL* PRODUK PENCAIRAN BATUBARA SUB-BITUMINUS SUMATERA SELATAN**

**Nama Mahasiswa** : Yogi Pratomo  
**NRP** : 1408 100 081  
**Jurusan** : Kimia, FMIPA-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Dr. R.Y. Perry Burhan, M.Sc.

## **Abstrak**

Kajian terhadap fraksi nafta dan *light oil* (LO) produk pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan ditujukan untuk mengetahui kandungan senyawa hidrokarbon dan potensinya sebagai bahan bakar cair serta mengetahui korelasinya terhadap karakter biomarkanya. Batubara dicairkan pada temperatur 450 °C dengan tekanan 120 MPa selama 60 menit. Hasil pencairan yang didapatkan adalah berupa produk cair berbentuk bubur (*slurry*). *Slurry* didestilasi vakum pada tekanan 10 mmHg untuk mendapatkan fraksi nafta, *light oil* (LO), *middle oil* (MO), *heavy oil* (HO), dan *coal liquid bottom* (CLB). Fraksi LO selanjutnya diekstraksi dan difraksinasi berdasarkan tingkat kepolarannya menggunakan kromatografi cair kolom untuk mendapatkan fraksi alifatik, aromatik dan polar. Fraksi nafta, alifatik- dan aromatik-LO selanjutnya dianalisa menggunakan kromatografi gas-spektrometri massa (KG-SM). Hasil analisa menunjukkan ketiga fraksi mengandung senyawa hidrokarbon penyusun bahan bakar cair, seperti hidrokarbon jenuh (*n*-alkana, alkana bercabang dan alkilsikloheksana) yang dominan dan hidrokarbon aromatik (alkilbenzena, naftalena dan turunannya, fenantrena dan turunannya serta pirena). Fraksi nafta memiliki rendemen 3,2 % terdiri dari sebaran hidrokarbon C<sub>8</sub>-C<sub>16</sub> diketahui identik dengan bahan bakar bensin, sedangkan fraksi

LO dengan jumlah rendemen lebih kecil 0,59 % terdiri dari sebaran hidrokarbon C<sub>9</sub>-C<sub>28</sub> diketahui identik dengan bahan bakar kerosin.

***Kata kunci*** : geokimia organik, biomarka, pencairan batubara, batubara sub-bituminus, bahan bakar

# **THE CHEMICAL STUDY OF NAPHTHA AND LIGHT OIL FRACTION IN SUB-BITUMINOUS COAL LIQUEFACTION PRODUCTS FROM SOUTH SUMATERA**

**Student Name** : Yogi Pratomo  
**NRP** : 1408 100 081  
**Department** : Chemistry, Faculty of Mathematic  
and Natural Sciences-ITS  
**Supervisor** : Prof. Dr. R.Y. Perry Burhan, M,Sc.

## **Abstract**

The Study on naphtha and light oil fractions (LO) products of sub-bituminous coal liquefaction South Sumatra aimed to determined the content of hydrocarbons and its potential as a liquid fuel and determined the correlation between biomarker character with hydrocarbon contents of sub-bituminous coal liquefaction South Sumatra. Coal melted at a temperature of 450 °C with a pressure of 120 MPa for 60 minutes. Liquefaction results obtained are liquid products in the form of slurry. Slurry vacuum distilled at a pressure of 10 mmHg to obtained fraction of naphtha, light oil (LO), middle oil (MO), heavy oil (HO), and coal liquid bottom (CLB). LO fractions subsequently extracted and fractionated based on the level of polarity using liquid chromatography column to get a fraction of aliphatic, aromatic and polar. Naphtha fractions, aliphatic- and aromatic-LO then analyzed using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The analysis showed the three fractions containing hydrocarbon constituent of liquid fuels, such as saturated hydrocarbons (*n*-alkanes, branched alkanes and alkylsiklohexane) dominated and aromatic hydrocarbons (alkylbenzene, naphthalene and its derivatives, phenanthrene and derivatives, and pyrene). Naphtha fraction has a yield of 3.2% consisting of C<sub>8</sub>-C<sub>16</sub> hydrocarbon distribution of the

same mind with gasoline, while the LO fraction of the number of smaller yield of 0.59% consists of the distribution of the C<sub>9</sub>-C<sub>28</sub> hydrocarbons of the same mind with kerosene fuel.

***Keywords:*** *organic geochemistry, biomarker, liquefaction, sub-bituminuos coal, fuel*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“KAJIAN KIMIAWI FRAKSI NAFTA DAN *LIGHT OIL* PRODUK PENCAIRAN BATUBARA SUB-BITUMINUS SUMATERA SELATAN”**.

Selesainya Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak yang telah tulus ikhlas memberikan tenaga dan pemikiran kepada penulis.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. R. Y. Perry Burhan, M.Sc selaku dosen pembimbing , yang telah memberikan saya kesempatan ikut dalam Tim Geokimia Organik Pencairan Batubara dan berkenan membimbing serta mendidik saya selama proses penulisan naskah tugas akhir dengan memberikan ilmu, saran dan nasehat serta didikan mentalnya selama ini.
2. Yulfi Zetra, MS, Agus Wahyudi, MS dan Masteria Yunovilsan Putra, Ph.D selaku dosen tim Lab Gokimia Molekuler yang telah banyak memberikan ilmu, saran dan motivasi selama masa perkuliahan dan proses penulisan naskah tugas akhir ini.
3. Dr. rer. Nat Fredy Kurniawan, M.Si selaku dosen wali yang telah memberikan motivasi, ilmu, dan saran selama masa perkuliahan.
4. Hamzah Fansuri, M.Si, Ph.D selaku ketua jurusan Kimia yang telah memberikan ilmu, motivasi dan kelancaran administrasi selama proses Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa penulisan naskah ini masih sangat jauh dari sempurna. Oleh karena itu saran dan kritik

sangat dibutuhkan penulis untuk dapat meningkatkan kualitas dan perbaikan lebih lanjut. Akhir kata, penulis berharap naskah ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, 29 Desember 2014

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>viii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xxi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	<b>xxii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Geokimia Organik .....	5
2.2 Batubara.....	5
2.2.1 Pembentukan Batubara .....	6
2.2.2 Komponen Penyusun Batubara .....	7
2.2.3 Struktur Batubara .....	8
2.2.4 Potensi Batubara .....	9
2.3 Batubara Sumatera Selatan .....	10
2.3.1 Tinjauan Geologis .....	10
2.3.2 Kualitas Batubara Sumatera Selatan .....	11
2.4 Biomarka.....	12
2.4.1 Biomarka Batubara .....	12
2.4.2 Biomarka Batubara Sub bituminus Sumatera Selatan .....	14
2.5 Pencairan Batubara .....	15
2.5.1 Proses Pencairan Batubara .....	16
2.5.2 Reaksi Pencairan Batubara .....	17
2.6 Komponen Senyawa Hidrokarbon Produk	

Pencairan Batubara.....	21
2.7 Komponen Senyawa Penyusun Bahan Bakar Minyak .....	22
2.8 Analisa Senyawa Penyusun Bahan Bakar Produk Pencairan .....	23
2.8.1 Ekstraksi Cair-Cair .....	23
2.8.2 Kromatografi Kolom.....	24
2.8.3 Kromatografi Gas-Spektrometri Massa (KG-SM) .....	24
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>	<b>27</b>
3.1 Alat dan Bahan .....	27
3.1.1 Alat .....	27
3.1.2 Bahan .....	27
3.2 Prosedur Penelitian .....	27
3.2.1 Perlakuan Pendahuluan .....	27
3.2.2 Pencairan Batubara .....	28
3.2.3 Distilasi Vakum <i>Slurry</i> Batubara .....	28
3.2.4 Ekstraksi Fraksi Light Oil (LO) dan Middle Oil (MO) .....	29
3.2.5 Fraksinasi Minyak Netral dari Fraksi Light Oil (LO) dan Middle Oil (MO) .....	29
3.2.6 Analisa dengan Kromatografi Gas (KG)-Spektrometri Massa (MS).....	30
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>31</b>
4.1 Pencairan Batubara Sub bituminus Sumatera Selatan .....	31
4.2 Ekstraksi Fraksi Light Oil (LO) .....	37
4.3 Fraksinasi Fraksi Minyak Netral dari Light Oil (LO) .....	37
4.4 Identifikasi Senyawa Penyusun Bahan Bakar Cair ..	38
4.4.1 Fraksi Hidrokarbon Alifatik.....	39
<i>Senyawa n-Alkana</i> .....	42
<i>Senyawa Alkana Bercabang</i> .....	48
<i>Senyawa Seskuiterpen</i> .....	54

<i>Senyawa Alkilsikloheksana</i> .....	57
4.4.2 Fraksi Hidrokarbon Aromatik.....	63
<i>Senyawa Alkilbenzena</i> .....	65
<i>Senyawa Turunan Kadalena</i> .....	77
<i>Senyawa Naftalena</i> .....	80
<i>Senyawa Fenantrena</i> .....	88
<i>Senyawa Pirena</i> .....	93
4.5 Korelasi Karakter Biomarka dengan Produk Pencairan Batubara.....	96
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>101</b>
5.1 Kesimpulan .....	101
5.2 Saran .....	102
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>103</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>111</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>	<b>121</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur makromolekul batubara	9
Gambar 2.2	Peta lokasi sedimen dan area penambangan batubara Sumatera	11
Gambar 2.3	Produk Tahap Awal Pencairan Batubara	19
Gambar 2.4	Proses kondensasi fragmen-fragmen batubara	20
Gambar 2.5	Produk tahap akhir pembentukan molekul batubara cair	21
Gambar 4.1	Kromatogram total fraksi hidrokarbon alifatik- dan aromatik-nafta produk pencairan batubara Sub-Bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-300°C (4°C/menit) dan isothermal pada 300°C selama 30 menit	40
Gambar 4.2	Kromatogram total fraksi hidrokarbon alifatik <i>light oil</i> (LO) produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit	41
Gambar 4.3	Fragmentogram <i>m/z</i> 57 fraksi hidrokarbon alifatik nafta produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit	43
Gambar 4.4	Fragmentogram <i>m/z</i> 57 fraksi hidrokarbon alifatik <i>Light Oil</i> (LO) produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera	44

Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit

Gambar 4.5	Spektrum massa <i>n</i> -dekana C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	45
Gambar 4.6	Spektrum massa <i>n</i> -undekana C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	46
Gambar 4.7	Spektrum massa <i>n</i> -tetradekana C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	46
Gambar 4.8	Spektrum massa <i>n</i> -heptadekana C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>	46
Gambar 4.9	Struktur umum iso- dan anteiso-alkana	49
Gambar 4.10	Spektrum massa 2,3-dimetilheksana, C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	49
Gambar 4.12	Fragmentogram <i>m/z</i> 109 fraksi hidrokarbon alifatik <i>Light Oil</i> (LO) pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit	55
Gambar 4.13	Gambar spektrum massa transkadinan, C <sub>15</sub> H <sub>28</sub>	56
Gambar 4.14	Fragmentogram <i>m/z</i> 83 fraksi hidrokarbon alifatik nafta pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit	58
Gambar 4.15	Fragmentogram <i>m/z</i> 83 fraksi hidrokarbon alifatik <i>Light Oil</i> (LO) batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit	59
Gambar 4.16	Spektrum massa propilsikloheksana, C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	60
Gambar 4.17	Spektrum massa butilsikloheksana, C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	60

Gambar 4.18	Spektrum massa nonilsikloheksana, $C_{15}H_{30}$	60
Gambar 4.19	Spektrum massa metilpentilsikloheksana, $C_{12}H_{24}$	61
Gambar 4.20	Fragmentogram total fraksi hidrokarbon aromatik <i>light oil</i> (LO) produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit	64
Gambar 4.21	Fragmentogram $m/z$ 91 fraksi hidrokarbon aromatik nafta produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.	66
Gambar 4.22	Fragmentogram $m/z$ 91 fraksi hidrokarbon aromatik <i>Light Oil</i> (LO) produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C(10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit	67
Gambar 4.23	Spektrum massa propilbenzena, $C_9H_{12}$	68
Gambar 4.24	Spektrum massa butilbenzena, $C_{10}H_{14}$	68
Gambar 4.25	Fragmentogram $m/z$ 105 fraksi hidrokarbon aromatik nafta produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit	69
Gambar 4.26	Fragmentogram $m/z$ 105 fraksi	70



	hidrokarbon aromatik <i>Light Oil</i> (LO) produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit	
Gambar 4.27	Spektrum massa 1-etil-2-metilbenzena, $C_9H_{12}$	71
Gambar 4.28	Spektrum massa 1-metil-2-pentilbenzena, $C_{12}H_{18}$	71
Gambar 4.29	Fragmentogram $m/z$ 119 fraksi hidrokarbon aromatik nafta produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit	73
Gambar 4.30	Fragmentogram $m/z$ 119 fraksi hidrokarbon aromatik <i>Light Oil</i> (LO) produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit	74
Gambar 4.31	Spektrum massa 2-etil-1,3- dimetilbenzena, $C_{10}H_{14}$	75
Gambar 4.32	Spektrum massa 1,3-dimetil-2- propilbenzena, $C_{11}H_{16}$	75
Gambar 4.33	Fragmentogram $m/z$ 169 fraksi hidrokarbon aromatik <i>Light Oil</i> (LO) produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit	78

Gambar 4.34	Spektrum massa kadalena, $C_{15}H_{18}$	79
Gambar 4.35	Fragmentogram $m/z$ 128 fraksi hidrokarbon aromatik nafta produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit	81
Gambar 4.36	Fragmentogram $m/z$ 128 fraksi hidrokarbon aromatik <i>Light Oil</i> (LO) produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit	82
Gambar 4.37	Spektrum massa naftalena, $C_{10}H_8$	83
Gambar 4.38	Fragmentogram $m/z$ 141 fraksi hidrokarbon aromatik nafta produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit	84
Gambar 4.39	Fragmentogram $m/z$ 141 fraksi hidrokarbon aromatik <i>Light Oil</i> (LO) produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit	85
Gambar 4.40	Spektrum massa metilnaftalena, $C_{11}H_{10}$	86
Gambar 4.41	Spektrum massa etilnaftalena, $C_{12}H_{12}$	86
Gambar 4.42	Spektrum massa dimetilnaftalena, $C_{12}H_{12}$	87
Gambar 4.43	Fragmentogram $m/z$ 178 fraksi hidrokarbon aromatik <i>Light Oil</i> (LO)	89

	produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit	
Gambar 4.44	Spektrum massa fenantrena, C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	90
Gambar 4.45	Fragmentogram <i>m/z</i> 191 fraksi hidrokarbon aromatik <i>Light Oil</i> (LO) produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit	91
Gambar 4.46	Spektrum massa etilfenantrena, C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	92
Gambar 4.47	Fragmentogram <i>m/z</i> 202 fraksi hidrokarbon aromatik <i>Light Oil</i> (LO) produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit	94
Gambar 4.48	Spektrum massa pirena, C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	95

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Produk pengolahan minyak bumi	23
Tabel 4.1	Analisa Proksimat Batubara Sub-Bituminus Sumatera Selatan	31
Tabel 4.2	Komposisi Umpan Pencairan Batubara Sub-Bituminous Sumatera Selatan	33
Tabel 4.3	Produk pencairan Total Batubara Sub-Bituminous Sumatera Selatan	34
Tabel 4.4	Hasil Distilasi Produk Cair Total Batubara Sub-Bituminous Sumatera Selatan	35
Tabel 4.5	Produk Pencairan Batubara Sub Bituminus Sumatera Selatan	36

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1	Skema Kerja	109
Lampiran 2	Perhitungan Produk Pencairan Batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan	111

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kebutuhan manusia terhadap bahan bakar terus meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan kebutuhan manusia lainnya yang menggunakan bahan bakar. Saat ini, penggunaan bahan bakar terfokus pada bahan bakar fosil konvensional terutama bahan bakar minyak (BBM) yang berasal dari destilasi minyak mentah dan berbagai olahan bahan bakar batubara. Namun, seiring dengan jumlah permintaan terhadap bahan bakar yang terus meningkat dari tahun ke tahun dan jumlah cadangan yang tidak bertambah maka pengolahan terhadap bahan bakar batubara dirasa masih kurang efektif dan bersih. Sehingga, diperlukan suatu konversi terhadap bahan bakar konvensional untuk memperoleh bahan bakar yang lebih berkelanjutan dan bersih serta dapat mampu memenuhi kebutuhan mesin pada saat ini. Proses konversi ini, selanjutnya salah satunya dikenal sebagai bahan bakar fosil modern. Bahan bakar fosil ini dapat digunakan sebagai alternatif untuk meningkatkan nilai ekonomi dari proses produksi energi, seperti konversi batubara menjadi bahan bakar cair melalui proses pencairan batubara (sukandarrumidi, 1995). Untuk menghasilkan bahan bakar cair yang berasal dari batubara maka perlu dilakukan kajian geokimia organik terhadap batubara untuk mengetahui potensi batubara apabila dicairkan.

Keberadaan batubara relatif lebih banyak dibandingkan dengan BBM. Pada tahun 2006 tercatat cadangan batubara Indonesia sebesar 4.968 juta ton atau 0,55 % dari 909.064 juta ton cadangan dunia. Cadangan batubara Indonesia diperkirakan akan bertahan dalam 41,40 tahun diperkirakan dari produksi pada tahun 2006. Berbeda dengan batubara, cadangan BBM Indonesia hanya sekitar 0,36 % cadangan

dunia dan bertahan sekitar 11,03 tahun diperkirakan dari produksi pada tahun 2006 sebesar 390 juta ton pertahun (Beyond Petroleum, 2006). Tambang batubara terbesar utamanya terdapat didaerah Sumatera Selatan (39,63 %), Kalimantan Timur (30,65 %) dan Kalimantan Selatan (27,63 %) (Puslitbang, 2006). Batubara sampai saat ini keberadaannya di seluruh dunia masih dalam jumlah cukup banyak. Terdapat banyak jenis batubara yang dikenal, diantaranya batubara dengan kandungan kalori yang tinggi dan batubara dengan kandungan kalori rendah (*low rank coal*) atau mengandung banyak air di dalamnya. Di Indonesia, mayoritas batubara adalah yang memiliki rentang kalori dari sedang ke rendah, yaitu batubara jenis bituminous, sub-bituminus dan lignit. Terutama di daerah cekungan sebelah selatan Sumatera, mayoritas adalah batubara dengan kalori rendah (<5100 kalori) dan sedang (5100-6100 kalori) (Puslitbang, 2006).

Pencairan batubara merupakan proses konversi batubara padat menjadi produk cair dengan menggunakan temperatur dan tekanan hidrogen tinggi serta melibatkan reaksi kimia yang kompleks (Shah, 1981). Pada proses ini akan terjadi perengkahan akibat panas (*thermoc cracking*) yang mengakibatkan senyawa yang memiliki berat molekul besar menjadi senyawa yang memiliki berat molekul ringan. Seperti senyawa *n*-alkana rantai panjang dari batubara yang mengalami perengkahan (*cracking*) akibat panas menjadi senyawa *n*-alkana rantai pendek dan alkilsikloalkana (Kissin, 1990).

Pemanfaatan batubara *low rank* sebagai bahan bakar padat belum optimal karena dianggap kurang menguntungkan secara ekonomis, sehingga diperlukan upaya konversi bahan bakar padat menjadi bahan bakar cair. Perencanaan konversi batubara menjadi bahan bakar cair perlu didukung informasi mengenai karakteristik produk batubara cair antara lain melalui karakter geokimia organik yang terkandung, sehingga diperoleh informasi karakter senyawa biomarka dan karakter

produk pencairan batubara yang mendukung potensi batubara sub-bituminus Sumatera Selatan sebagai bahan bakar cair.

## **1.2 Permasalahan**

Permasalahan penelitian ini adalah bahwa produk senyawa hidrokarbon fraksi nafta dan *light oil* hasil pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan diperkirakan memiliki kesepadanan dengan senyawa kimia hidrokarbon penyusun minyak mentah secara umum dan batubara cair dapat berpotensi sebagai pengganti bahan bakar minyak.

## **1.3 Tujuan**

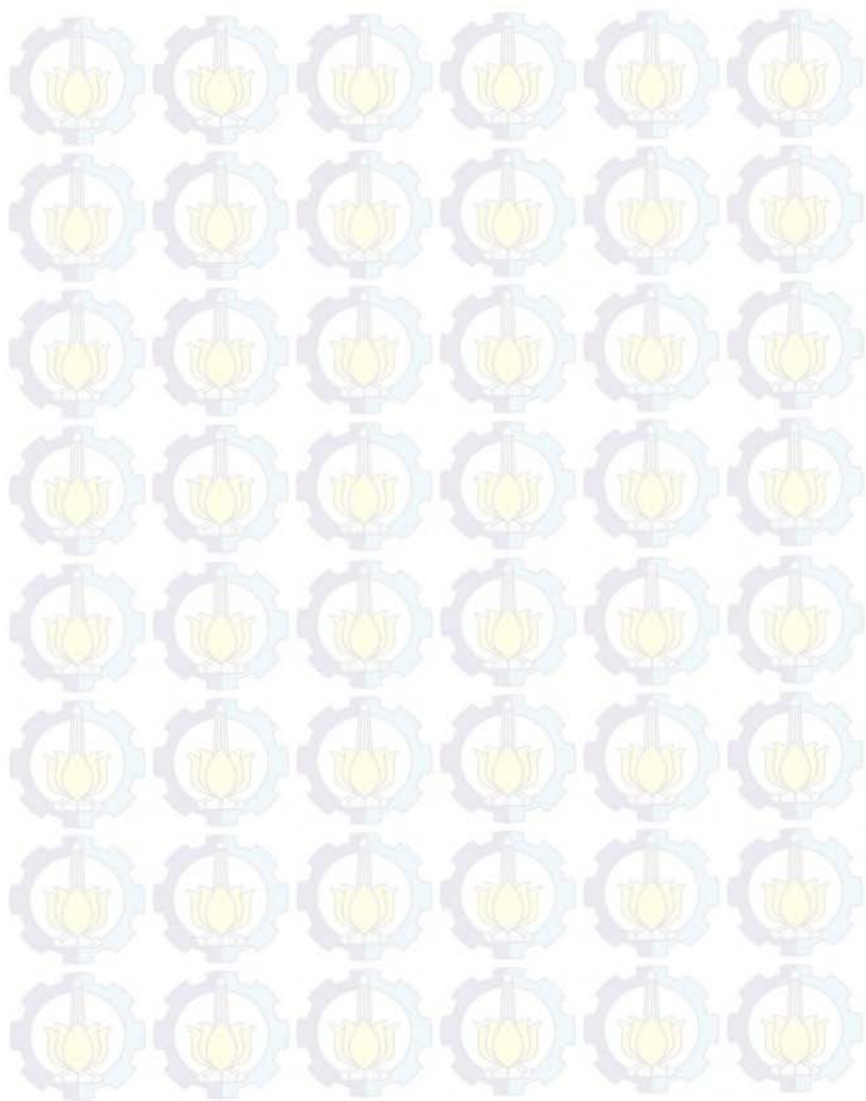
Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari senyawa kimia hidrokarbon dalam fraksi nafta dan *light oil* produk pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan dan mengetahui kesepadannya dengan senyawa kimia hidrokarbon penyusun minyak mentah secara umum, untuk mengetahui potensi batubara cair sebagai pengganti bahan bakar minyak.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan adalah untuk mengetahui senyawa kimia hidrokarbon dalam fraksi nafta dan *light oil* hasil pencairan batubara dan mengetahui keterkaitannya dengan senyawa kimia hidrokarbon penyusun minyak mentah sehingga diketahui potensi batubara cair sebagai pengganti bahan bakar minyak.



***Halaman ini sengaja dikosongkan***



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Geokimia Organik**

Geokimia organik adalah perpaduan antara tiga disiplin ilmu yaitu geologi, kimia dan biologi. Ilmu ini mempelajari mengenai bahan-bahan organik yang meliputi mekanisme pembentukan, komposisi, asal usul, kondisi pengendapan, distribusi, dan hubungannya dengan batuan sedimenter (Peters dan Moldowan, 1993; Kvenvolden, 2008). Selain mempelajari kondisi-kondisi diatas, ilmu geokimia organik juga mampu memberikan penjelasan tentang kondisi lingkungan pemendaman purba (*paleoenvironment*) dan kondisi ekologi (*paleoecological*) serta derajat kematangan (*maturity*) dari sedimen, batubara dan minyak bumi (Philp, 1985; Didyk, dkk., 1978).

Bahasan geokimia organik mencakup bahan-bahan organik yang ditemukan (biomarka) yang dapat menjelaskan senyawa prekursor yang berasal dari organisme tertentu dan lingkungan awal terbentuknya minyak bumi, batubara dan sedimen (Philp, 1986). Hal ini sangat penting untuk menentukan kelayakan batubara yang akan dicairkan, seperti dalam penelitian oleh Starchan dkk. (1989) yang membandingkan komposisi biomarka bahan bakar sintesis berasal dari batubara dengan biomarka dalam minyak bumi begitu jg dengan Najamuddin (2011) dan Ulfa (2011) yang melakukan penelitian untuk membandingkan antara komposisi biomarka hasil ekstraksi dengan biomarka yang berasal dari batubara cair.

#### **2.2 Batubara**

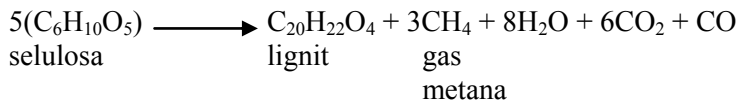
Batubara merupakan campuran padatan yang heterogen dan terdapat di alam dalam tingkat yang berbeda-beda mulai dari lignit, subbituminus, bituminus dan antrasit. Ketiga jenis batubara ini dibedakan berdasarkan atas kandungan zat terbang (*volatile matter*) dan besar kalorinya. Semakin tinggi

nilai kalor batubara maka penampakkannya akan semakin hitam, mengkilat dan kompak. Batubara Sumsel jenis sub bituminus memiliki penampakan hitam mengkilat, kurang kompak dan memiliki nilai kalor yang cukup tinggi (Sukandarrumidi, 1995).

### **2.2.1 Pembentukan Batubara**

Batubara adalah bahan bakar fosil yang memiliki asal usul sama dengan minyak bumi, yaitu tersusun atas sisa-sisa makhluk hidup seperti tanaman, alga, bakteri spora dan lainnya. Bahan organik tersebut akan mengendap dan terakumulasi disuatu tempat yang biasanya disebut cekungan (Sukandarrumidi, 1995). Tahapan geologi yang dialami oleh bahan organik yang akan membentuk batubara terdiri atas tiga tingkatan, terdiri dari tahap diagenesis, katagenesis dan metagenesis (Tissot dan Welte, 1984). Batubara terbentuk dalam waktu yang lama dengan kondisi tertentu yang sangat kompleks.

Pembentukan batubara terjadi dalam dua fase yaitu penggambutan (*peatification*) dan pembentukan batubara (*coalification*). Tahap *peatification*, bahan organik yang terkumpul didalam cekungan akan berubah menjadi gambut (*peat*) yang sudah dapat digunakan sebagai bahan bakar. Fase ini melibatkan organisme hidup (seperti bakteri aerob, anaerob dan jamur) dan berlangsung pada tekanan dan suhu normal. Tahap *coalification*, gambut akan mengalami perkembangan menjadi lignit, sub-bituminus, bituminus, antrasit dan meta-antrasit. Tahap ini terjadi akibat adanya peningkatan temperatur dan tekanan yang disebabkan peningkatan kedalaman penimbunan unsur organik (Burhan, 2006). Pada proses ini terjadi perubahan fisik maupun perubahan struktur kimia. Bahan-bahan yang bersifat *volatil* (mudah menguap), seperti molekul air, karbon dioksida dan metana akan hilang sehingga nilai kalor naik (Sukandarrumidi, 1995). Reaksi pembentukannya di bawah ini,



Rasio atom H/C dan O/C mengalami perubahan pada proses *peatification* dan *coalification*. Rasio H/C dan O/C dapat digunakan untuk menentukan proses kematangan batubara. Urutan kematangan batubara berdasarkan nilai kalor yang terendah adalah jenis *peat* (gambut), batubara coklat, bituminus dan antrasit (Sukandarrumidi, 1995).

### 2.2.2 Komponen Penyusun Batubara

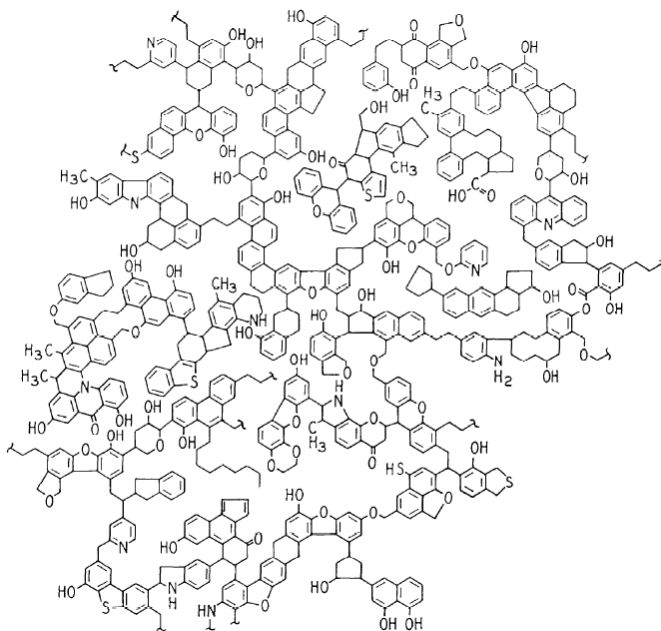
Petrologi batubara adalah ilmu yang digunakan untuk mengetahui komponen penyusun batubara. Pengamatan dalam ilmu ini mencakup material organik (karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur) dan material anorganik ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  dan alkali) penyusun batubara. Bahan-bahan organik dan anorganik selanjutnya menjadi sedimen dan membentuk makromolekul dengan struktur kimia yang beragam (Miller, 2005). Unsur oksigen dalam batubara umumnya ditemukan dalam bentuk gugus karboksil, keton, hidroksil (fenolat dan alkohol) dan metoksi. Unsur nitrogen ditemukan dalam bentuk gugus amina, yang banyak dalam batubara muda seperti lignit. Unsur sulfur ditemukan dalam bentuk sulfida, disulfida atau merkaptan pada struktur alifatik dan aromatik (Killops dan Killops, 1993; Tuo, dkk., 1998; Oros dan Simoneit, 2000).

Petrologi batubara umumnya ditinjau dalam dua aspek yaitu jenis dan derajat batubara. Jenis batubara berhubungan dengan jenis tumbuhan pembentuk batubara. Bahan-bahan penyusun batubara dikenal sebagai maseral. Maseral diartikan sebagai komponen terkecil dari batubara (mineral pada batuan). Maseral terbagi atas tiga kelompok, yaitu vitrinit, eksinit dan inertinit. Vitrinit tersusun atas dinding sel atau serat kayu; eksinit tersusun atas spora, butiran-butiran serbuk sari, daun, tangkai, akar, resin, lipid, minyak dan sisa-sisa

ganggang; sedangkan inertinit tersusun atas hasil proses biokimia dari kayu dan serat kayu selama penggambutan. Karakteristik lain yang digunakan dalam petrologi batubara adalah nilai reflektan vitrinit. Nilai ini digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kematangan (maturitas) dan tingkatan batubara (Sukandarrumidi, 1995).

### **2.2.3 Struktur Batubara**

Batubara memiliki struktur molekul yang tersusun atas kumpulan cincin aromatik yang memiliki gugus fungsi (metil atau hidroksi) yang saling berikatan. Tingkat aromatisitas batubara semakin meningkat seiring tingkat kematangan batubara, jumlah atom hidrogen meningkat dengan penurunan jumlah ikatan. Oksigen yang lebih reaktif pada gugus fungsi ( $-\text{OCH}_3$ ,  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{OH}$ ) jumlahnya menurun, sedangkan gugus fungsi yang tidak reaktif ( $\text{C}=\text{O}$ ) mengalami peningkatan jumlah (Shinn, 1984). Struktur makromolekul batubara diilustrasikan pada Gambar 2.1,



Gambar 2.1 Struktur makromolekul batubara (Shinn, 1984)

#### 2.2.4 Potensi Batubara

Keberadaan batubara relatif lebih banyak dibandingkan dengan bahan bakar minyak. Pada tahun 2006 tercatat cadangan batubara Indonesia sebesar 4.968 juta ton atau 0,55 % dari 909.064 juta ton cadangan dunia. Cadangan batubara Indonesia akan bertahan dalam 41,40 tahun dari produksi pada tahun 2006. Berbeda dengan batubara, cadangan minyak mentah Indonesia hanya sekitar 0,36 % cadangan dunia dan bertahan sekitar 11,03 tahun dari produksi pada tahun 2006 sebesar 390 juta ton pertahun (Beyond Petroleum, 2006). Tambang batubara terbesar utamanya terdapat di Sumatera Selatan (39,63 %), Kalimantan Timur (30,65 %) dan Kalimantan Selatan (27,63 %) (Puslitbang, 2006).

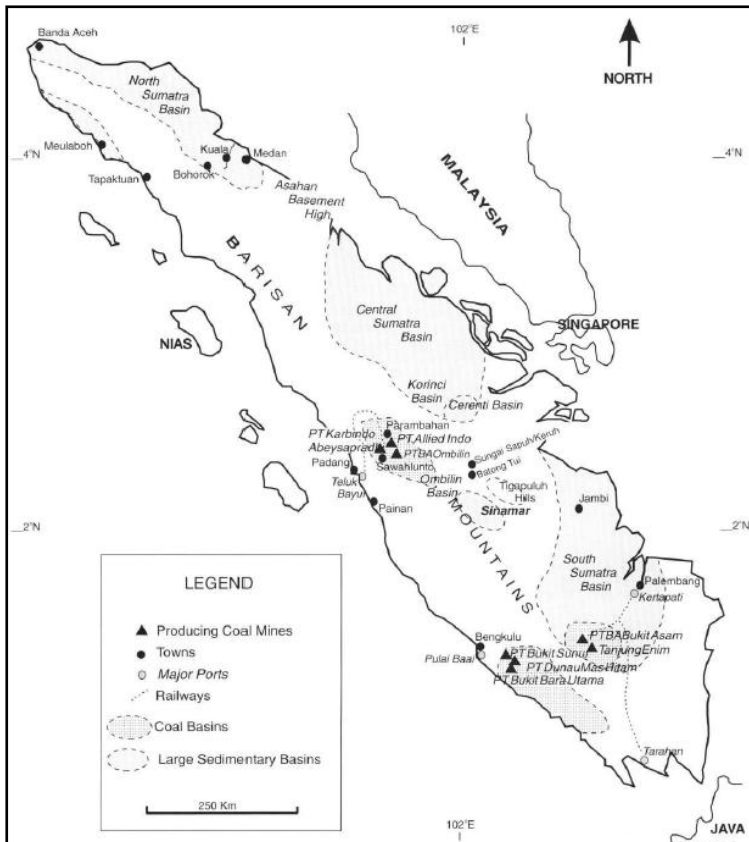
Cadangan batubara Sumatera Selatan yang sebesar 39,63 % dari jumlah batubara Indonesia terdiri dari batubara jenis

kalori tinggi (6100-7100 kal/g) sebesar 2,5 %, kalori sedang (5100-6100 kal/g) sebesar 6,94 % dan kalori rendah (<5100 kal/g) sebesar 90,55 %. Sebagian besar batubara Indonesia adalah batubara berkalori rendah yang memiliki harga jual yang rendah. Hal ini menjadikan batubara Indonesia berpotensi untuk dikembangkan menjadi batubara cair untuk meningkatkan nilai ekonomis dari batubara (Puslitbang, 2006).

## **2.3 Batubara Sumatera Selatan**

### **2.3.1 Tinjauan Geologis**

Cekungan Batubara Sumatera Selatan terbagi didalam enam formasi, yaitu formasi Muara Enim, Kasai, Air Benakat, Gumai, Talang Akar dan Lahat. Formasi Muara Enim mengalami deposisi selama akhir masa Miosen hingga awal Pliosen. Pada masa ini, lapisan bumi mengalami lipatan dan patahan sehingga batubara di cekungan ini dipengaruhi oleh aktivitas magma berupa ekstrusi dan intrusi. Akibat adanya aktivitas intrusi terjadi perubahan lapisan lokal dan peningkatan peringkat batubara lignit menjadi batubara antrasit di beberapa area (Gafoer dan Purbohadiwidjono, 1986; Darman dan Sidi, 2000). Pujobroto dan Hutton (2000) melaporkan tiga kejadian intrusif terjadi dekat cekungan Tanjung Enim (Air Laya dan Suban). Cekungan ini akhirnya terbagi menjadi dua jenis batubara yaitu batubara yang dipengaruhi kondisi termal dan tidak dipengaruhi. Gambar yang menunjukkan lokasi sedimen dan lokasi penambangan batubara Sumatera Selatan ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Peta lokasi sedimen dan area penambangan batubara Sumatera (Barber, dkk., 2005)

### 2.3.2 Kualitas Batubara Sumatera Selatan

Batubara yang tidak dipengaruhi kondisi termal Sumatera Selatan memiliki nilai reflektan vitrinit ( $R_v$  max) sebesar 0,40-0,50% dan tergolong batubara subbituminus. Sedangkan jenis yang dipengaruhi kondisi termal memiliki nilai  $R_v$  max sebesar 0,60-2,60% yang tergolong batubara jenis bituminus sampai antrasit. Komposisi vitrinit cekungan ini berkisar 69,6-86,2% volume dan konstituen minornya berupa liptinit (4,0-



61,4% vol) dan inertinit (0,2-43,9%) (Sukandarrumidi, 1995). Maseral vitrinit formasi muara enim memperlihatkan sinar fluoresensi yang lebih kuat dibandingkan pada batubara dari formasi Talang Akar dan Lahat, dimana warna kuning hingga hijau terang mendominasi maseral eksinit dari batubara formasi Muara Enim sedang batubara dari formasi Talang Akar dan Lahat memperlihatkan warna kuning tua hingga coklat (Sukandarrumidi, 1995; Amijaya dan Littke, 2005).

## 2.4 Biomarka

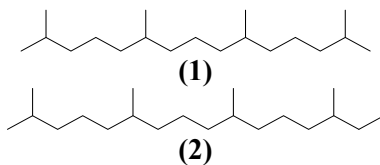
Biomarka atau senyawa penanda biologi adalah senyawa-senyawa organik yang berasal dari makhluk hidup yang terdapat dalam batuan dan sedimen. Senyawa biomarka berasal dari molekul lemak yang terjaga kerangka aslinya. Struktur senyawa ini sedikit atau tidak mengalami perubahan sama sekali dari molekul induk yang terdapat dalam organisme induk. Pada pembentukan batubara sebagian senyawa biomakromolekul dari organisme yang telah mati berubah menjadi batubara dan sebagian lainnya menjadi senyawa biomarka. Senyawa biomarka merupakan senyawa yang khas untuk menjelaskan asal usul batubara (Killops dan Killops, 1993; Peters dan Moldowan, 1993). Dalam perkembangannya, senyawa biomarka mengalami berbagai reaksi, seperti defungsionalisasi, aromatisasi dan isomerasi.

### 2.4.1 Biomarka Batubara

Biomarka *n*-alkana umum ditemukan dalam fraksi alifatik batubara. Kandungan biomarka *n*-alkana dengan jumlah karbon banyak ( $C > 20$ ) menggambarkan hidrokarbon berasal dari komponen lilin tumbuhan tingkat tinggi daratan. sedangkan kandungan biomarka *n*-alkana dengan jumlah karbon sedikit ( $C < 20$ ) menggambarkan hidrokarbon berasal dari organisme laut seperti alga, ganggang dan mikroorganisme. Tuo dkk., (2003) menemukan biomarka *n*-alkana pada batubara cekungan Liaohé Cina yang menunjukkan adanya dominasi utama dari  $C_{21}$ - $C_{33}$ . Hal

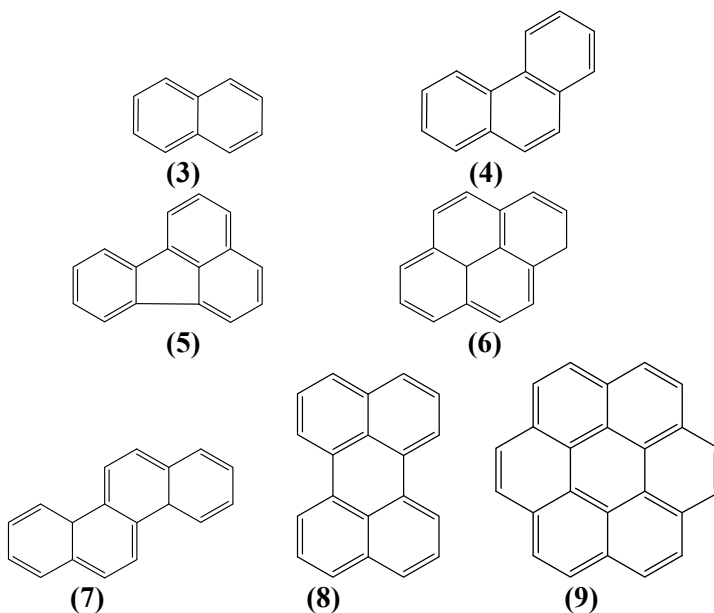
ini menggambarkan senyawa organik berasal dari tumbuhan tingkat tinggi.

Senyawa terpenoid banyak ditemukan sebagai biomarka batubara dan minyak mentah. Senyawa terpenoid adalah senyawa yang tersusun atas unit isoprena ( $C_5$ ). Kelimpahan terpenoid di alam terdapat dalam bentuk unit-unit isoprenoid, seperti susunan dengan ikatan kepala-ekor yaitu farnesan ( $C_{15}$ ), pristan ( $C_{19}$ ) dan fitan ( $C_{20}$ ) serta homolog  $C_{40}$ - $C_{45}$ . Isoprenoid skualen dan likopena memiliki jenis ikatan ekor-ekor, sedangkan ikatan kepala-kepala terdapat dalam bakteri termofilik dan minyak mentah (Philp, 1985). Keberadaan isoprenoid asiklik seperti pristan (Pr)(1) dan fitan (Ph)(2) dapat menggambarkan lingkungan pengendapannya. Perbandingan  $Pr/Ph < 1$  menunjukkan lingkungan pengendapan yang anoksik, sedangkan  $Pr/Ph > 1$  menunjukkan lingkungan yang oksik (Dydik, dkk., 1978). Senyawa turunan sterol, sterana juga sering terdapat dalam biomarka batubara. Sterana adalah hasil reduksi dari senyawa sterol. Sterana  $C_{27}$  adalah senyawa biomarka yang diturunkan dari sumber laut dan sterana  $C_{29}$  adalah biomarka turunan dari tanaman tingkat tinggi. Ion karakteristik senyawa sterana adalah  $m/z$  217 dan sebagian besar ditemukan dalam batubara jenis *brown coal* (Philp, 1985).



Senyawa aromatik merupakan senyawa yang khas sebagai biomarka batubara. Adanya senyawa aromatik sebagai biomarka batubara dapat memberikan informasi terkait sumber batuan, lingkungan pengendapan dan kematangan batubara. Jumlah senyawa yang sedikit menunjukkan proses aromatisasi batubara masih berlangsung dan bertambah banyak seiring proses sampai tahap akhir pembentukan bituminous (Killops

dan Killops, 1993). Biomarka senyawa aromatik yang ada dalam batubara subbituminous dan bituminous diantaranya naftalena (3), fenantrena (4), fluorantena (5), pirena (6), krisena (7), perilena (8) dan koronena (9) serta homolog substitusi alkil  $C_1$ - $C_3$  (Wang dan Simoneit, 1990).



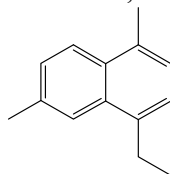
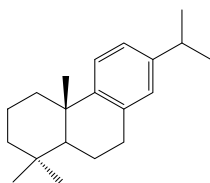
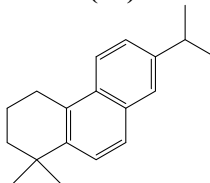
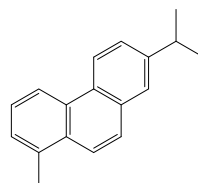
#### 2.4.2 Biomarka Batubara Sub bituminus Sumatera Selatan

Senyawa *n*-alkana rantai pendek ( $C_{14}$ - $C_{24}$ ) dan isoprenoid asiklik  $C_{13-14}$  ditemukan dalam biomarka batubara Sub-Bituminous Muara Tiga Besar Utara, Sumatera Selatan (Burhan, 2006; Renawati, 2006). Keberadaan *n*-alkana menggambarkan batubara berasal dari alga dan sianobakteria (Gelpi, dkk., 1970; Erbacher, dkk., 2004), sedangkan isoprenoid asiklik yang merupakan turunan dari rantai samping finil pada klorofil, menandakan batubara berasal dari tumbuhan berklorofil meskipun terdapat sumber lain seperti arkaebakteria (Amijaya, dkk., 2006). Senyawa seskuiterpenoid

juga teridentifikasi dalam batubara ini, yaitu norkadalena **(10)** yang memiliki kerangka dasar kadinan. Prekursor kadinan adalah senyawa yang merupakan komponen utama dari minyak atsiri dan resin tanaman tingkat tinggi.

Biomarka senyawa diterpenoid terdapat dalam batubara Sub-Bituminous Sumatera Selatan, diantaranya dehidroabietan **(11)**, simonelit **(12)** dan retena **(13)** (Burhan, 2006; Renawati, 2006). Mackenzie (1984) menjelaskan bahwa kandungan biomarka diterpenoid merupakan indikator tumbuhan darat.

Senyawa homolog hopan  $C_{28}$ - $C_{29}$  terdapat dalam batubara sub-bituminous Sumatera Selatan, terutama neohop-13(18)-ena yang mengindikasikan proses pembentukan batubara terjadi akibat aktivitas bakteri. Selanjutnya, biomarka berupa senyawa aromatik juga ditemukan yaitu senyawa homolog podokarpatriena  $C_{29}$ - $C_{32}$ . Senyawa ini mengindikasikan bahwa batubara berasal dari resin daun tumbuhan darat dari famili *Podocarpaceae*, *Araucariaceae*, *Cupressaceae* (Peter dan Moldowan, 1993)

**(10)****(11)****(12)****(13)**

## 2.5 Pencairan Batubara

Pada saat kebutuhan energi yang berasal dari bahan bakar fosil menjadi sangat vital dan terbatas maka harus dilakukan penghematan dan penciptaan sumber energi baru.

Salah satunya adalah bahan bakar yang diperoleh dari pencairan batubara. Pencairan batubara dilakukan dengan menggunakan suhu dan tekanan yang tinggi dengan gas hidrogen.

### 2.5.1 Proses Pencairan Batubara

Pencairan batubara atau *coal liquefaction* adalah proses pemecahan struktur makromolekul batubara dengan bantuan suhu dan tekanan tinggi. Pada proses pencairan batubara digunakan gas hidrogen yang dapat membantu dalam proses hidrogenasi batubara. Hal ini sangat penting untuk menstabilkan struktur baru yang lebih sederhana, yang selanjutnya disebut batubara cair. Rasio atom hidrogen/karbon (H/C) digunakan untuk melihat keberadaan atom hidrogen. Rasio H/C batubara berkisar 0,3-0,9 sedangkan minyak bumi memiliki rasio 1,4-1,8 (Shah, 1981).

Teknologi pencairan yang sering digunakan adalah teknologi yang berhasil dikembangkan oleh organisasi NEDO (*the New Energy Development Organization*). Tiga metode pencairan telah berhasil dikembangkan NEDO yaitu *solvolysis system*, *solvent extraction system* dan *direct hydrogenation to liquefy bituminous coal* (Hirano, 2000). NEDO juga berhasil mengembangkan teknologi pencairan batubara kualitas rendah, batubara coklat menjadi batubara cair yang berkualitas yaitu *Brown Coal Liquefaction Technology* (BCL).

Pada pencairan batubara digunakan suhu dan tekanan tinggi dengan penggunaan gas hidrogen. Dalam pencairan batubara *low rank* Indonesia, suhu yang digunakan sebesar 450 °C dengan tekanan sebesar 8 MPa (Artanto, dkk., 2000), batubara Shenhua Cina dicairkan pada suhu tinggi berkisar 400 °C (Wang, dkk., 2007) sampai 460 °C dengan tekanan sebesar 8,0 MPa (Li, dkk., 2008), dan batubara *low* dan *medium rank* (Ulfa, 2011; Najamuddin, 2011) dengan suhu 450 °C dan tekanan 7 MPa. *Slurry* merupakan hasil yang didapatkan setelah proses pencairan selesai. *Slurry* yang

didapatkan dipisahkan kedalam lima fraksi dengan menggunakan metode destilasi vakum, yaitu fraksi nafta (30-180 °C; berupa gas yang dijebak menggunakan gas nitrogen), LO (*light oil*) (180-220 °C), MO (*middle oil*) (220-350 °C), HO (*heavy oil*) (350-538 °C) dan residu CLB (*coal liquid bottom*) (>538 °C) (Kouzu, dkk., 2000; Ulfa, 2011; Najamuddin, 2011). Kelima fraksi ini, kecuali residu CLB, selanjutnya dianalisa untuk mempelajari karakteristik batubara cair.

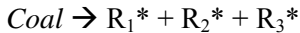
### 2.5.2 Reaksi Pencairan Batubara

Reaksi pirolisa terjadi pada proses pencairan batubara, yaitu reaksi pemutusan ikatan senyawa makromolekul batubara dengan bantuan suhu dan tekanan hidrogen tinggi (Shinn, 1984; Miller, 2005). Pada pencairan batubara terjadi reaksi pirolisa diduga akibat adanya ikatan yang lebih reaktif dibandingkan ikatan lain, yaitu ikatan atom yang mudah putus dan adanya gugus fungsi yang dapat berkontribusi dalam pemecahan ikatan antara atom karbon (C-C) (Najamuddin, 2011).

Reaksi lainnya yang terjadi pada pencairan batubara adalah reaksi radikal bebas dengan bantuan pelarut dan katalis. Pelarut antara lain berperan sebagai pemecah ikatan dalam makromolekul batubara atau membuka cincin hidroaromatik, mempercepat tahapan dealkilasi dari campuran alil aromatik (Vernon, 1980; Maholtra dan McMillen, 1993), menstabilkan radikal bebas dan memindahkan oksigen dari radikal bebas sebelum reaksi retrogresif (Shah, 1981). Katalis lebih banyak berperan untuk memasukkan atom hidrogen ke dalam struktur makromolekul batubara (Maholtra dan McMillen, 1993). Reaksi radikal bebas yang terjadi dijelaskan oleh Rudnick dan Tueting (1984) menjadi tiga tahap, yaitu

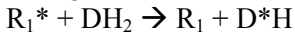
#### 1. Tahap Inisiasi

Dekomposisi termal makromolekul batubara membentuk fragmen- fragmen radikal bebas.



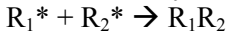
2. Tahap Propagasi

Radikal-radikal bebas yang terbentuk bereaksi dengan pelarut yang berfungsi sebagai donor hidrogen.

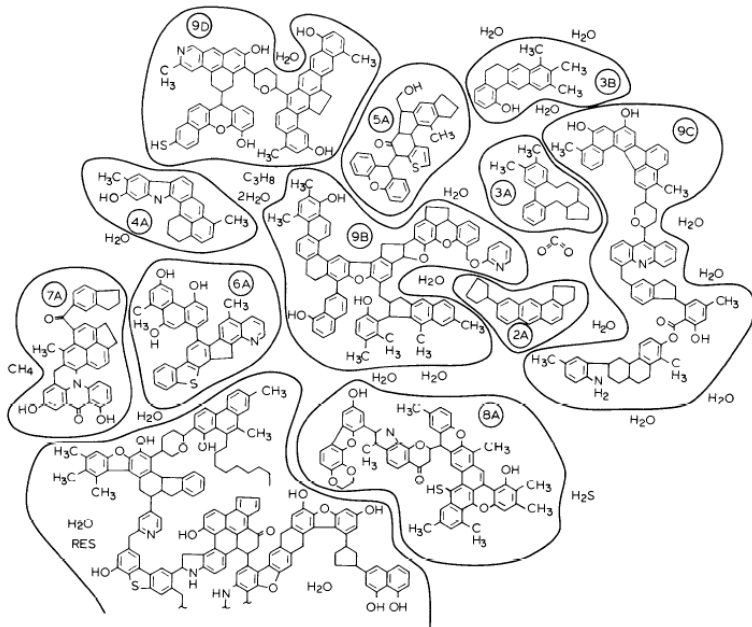


3. Tahap Terminasi

Radikal-radikal bereaksi dengan radikal-radikal batubara lainnya.



Penelitian oleh Shinn (1984) mengungkapkan terdapat dua tahapan dalam proses pembentukan molekul batubara cair, yaitu tahap awal atau dikenal *short-contact time liquefaction* dan tahap akhir. Pada tahap awal diungkapkan terdapat dominasi distribusi pembentukan *preasphaltenes* atau asphaltols yang memiliki berat molekul besar dengan jumlah gugus polar banyak (fenol dan nitrogen). Konsumsi hidrogen pada tahap ini relatif kecil dan sebagian kecil jumlah ini ditemukan menyelubungi ikatan silang makromolekul batubara, yang selanjutnya membentuk molekul air dan gas (Gambar 2.3).

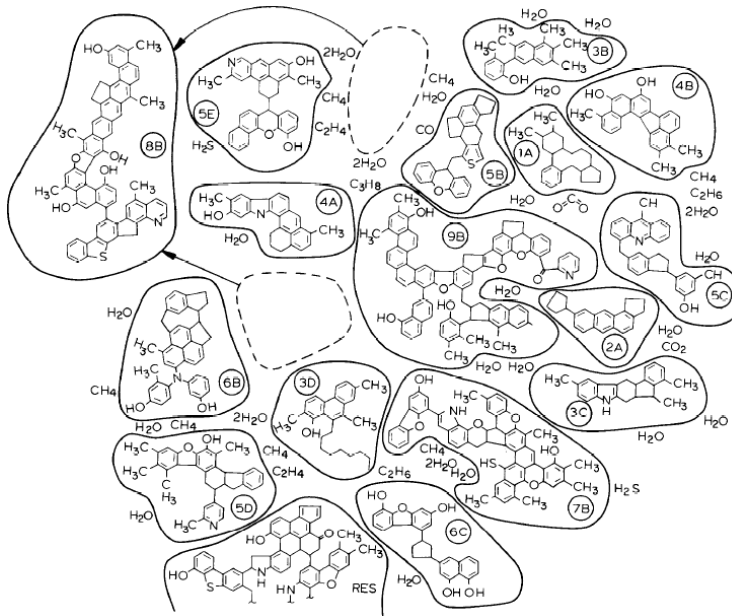


Gambar 2.3 Produk Tahap Awal Pencairan Batubara (Shinn, 1984)

Tahap awal reaksi pencairan batubara terjadi dengan adanya temperatur dan waktu pemanasan, mengakibatkan jumlah konsumsi hidrogen lebih tinggi. Hal ini menjadikan distribusi produk yang berbeda, terjadi peningkatan *asphaltenes* dan minyak serta penurunan *asphaltols*. Distribusi produk yang berbeda dikarenakan adanya reaksi depolimerisasi dan pengurangan gugus fungsi. Hal ini terlihat pada fraksi 9C dalam Gambar 2.3 menjadi fraksi 3C, 4B dan 5C dalam Gambar 2.4 yang menunjukkan terdapat peningkatan produk ringan, air dan  $H_2S$ . Pada tahap ini konsumsi hidrogen lebih banyak berasal dari hidrogen yang menyelubungi makromolekul dan hasil pembentukan gas dibandingkan dengan yang berasal dari sumber eksternal (pelarut).

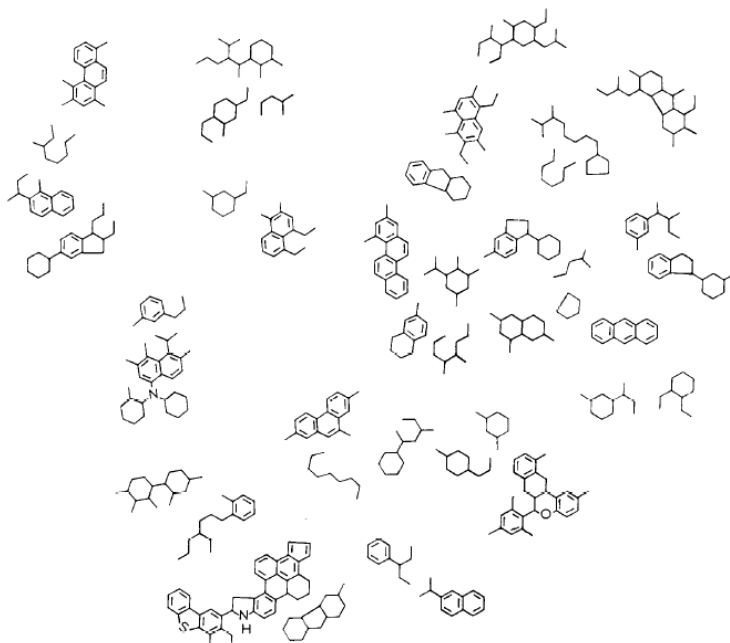


Fragmen-fragmen batubara selanjutnya menjadi lebih aromatik dan terkondensasi seiring meningkatnya kekerasan. Salah satu contoh reaksi kondensasi ditunjukkan fragmen 9D dan 6A pada Gambar 2.3 mengalami reaksi kondensasi dari struktur fenol membentuk struktur tipe furan (fragmen 8B Gambar 2.4).



Gambar 2.4 Proses kondensasi fragmen-fragmen batubara (Shinn, 1984)

Tahap kedua pembentukan molekul batubara cair menunjukkan peningkatan kekerasan dan pembentukan produk bahan bakar (Gambar 2.5). Peningkatan kekerasan selama proses pemanasan dapat dihasilkan dari reaksi polimerisasi, kondensasi dan peningkatan senyawa aromatik yang dibentuk dari fragmen-fragmen batubara. Fragmen radikal terstabilkan dengan pembentukan ikatan yang lebih stabil secara termal.



Gambar 2.5 Produk tahap akhir pembentukan molekul batubara cair (Shinn, 1984)

## 2.6 Komponen Senyawa Hidrokarbon Produk Pencairan Batubara

Senyawa-senyawa yang ditemukan dalam batubara cair memiliki karakteristik tersendiri dibandingkan dengan biomarka pada sedimen dan batubara. Biomarka yang ditemukan dalam batubara cair umumnya telah mengalami degradasi termal selama proses pencairan dengan suhu dan tekanan tinggi. Biomarka yang sering dijumpai dalam batubara cair antaranya adalah senyawa *n*-alkana. Senyawa *n*-alkana dengan rantai karbon pendek ( $C < C_{20}$ ) dapat menunjukkan batubara berasal dari tanaman tingkat rendah (alga dan sianobakteri) atau berasal dari *thermocracking* rantai panjang ( $C > C_{20}$ ) dan *n*-alkana rantai panjang ( $C > C_{20}$ ) menunjukkan

asal batubara adalah tanaman tingkat tinggi (Tissot dan Welte, 1984). Penemuan lainnya mengenai senyawa *n*-alkana yaitu oleh White dkk. (1977), mengemukakan tidak ada lagi dominasi atom karbon ganjil di dalam produk batubara cair dikarenakan perubahan panas sehingga adanya eliminasi atom karbon ganjil yang ada. Senyawa lainnya yang terdapat sebagai biomarka batubara cair adalah senyawa alkilsikloalkana yang diperkirakan juga merupakan hasil dari proses *thermocracking* dan siklisasi alkana rantai panjang selama pencairan (Fowler, dkk., 1986; Dong, dkk., 1987; Kissin, 1990).

Senyawa lain yang ditemukan dalam batubara cair adalah senyawa alkana bercabang. Senyawa ini ditemukan dalam kelimpahan yang banyak pada batubara cair dan minyak bumi. Alkana bercabang berupa iso- dan anteiso-alkana diperkirakan berasal dari *n*-alkana rantai panjang yang mengalami cracking (White, dkk., 1977). Senyawa iso dan anteiso ini juga umum ditemukan dalam biomarka batubara dan sedimen yang diduga berasal dari tumbuhan tingkat tinggi dan sianobakteri dalam bentuk monometil alkana (Eglinton dan Hamilton, 1967). Penelitian White dkk. (1977) juga mendapati adanya senyawa isoprenoid pristan (**1**), fitan (**2**) dan isoprenoid C<sub>18</sub> yang dimungkinkan berasal dari dua sumber, yaitu (1) terbentuk selama proses pencairan dari prekursor dengan kerangka karbon sama atau (2) sudah ada dalam batubara sebagai alkana yang terekstrak dan bertahan selama proses pencairan menjadi produk batubara cair.

## **2.7 Komponen Senyawa Penyusun Bahan Bakar Minyak**

Bahan bakar minyak (BBM) diperoleh dari pengolahan minyak bumi dengan prinsip destilasi. Fraksi yang didapatkan dari pengolahan terdiri dari bensin, minyak tanah (kerosen) sampai dengan aspal (tabel 2.1). Bahan bakar minyak tersusun dari beragam senyawa organik hidrokarbon yang umumnya dari seri alkana.

Tabel 2.1 Produk pengolahan minyak bumi

Range titik didih (C)	Jumlah atom karbon	Nama Produk	Penggunaan
<30	1 - 4	Fraksi gas	Bahan bakar gas
30 - 80	5 – 10	Bensin	Bahan bakar motor
180 – 230	11 – 12	Kesoren	Bahan bakar jet
230 – 305	13 – 17	Solar	Bahan bakar diesel
305 – 405	18 – 25	<i>Heavy fuel oil</i>	Bahan bakar pemanas
>405	>25	Residu	Aspal

(Hobson, 1984)

## 2.8 Analisa Senyawa Penyusun Bahan Bakar Produk Pencairan

### 2.8.1 Ekstraksi Cair-Cair

Ekstraksi merupakan proses pemisahan suatu senyawa dari campuran yang didasarkan pada kemampuan kelarutan suatu zat terhadap pelarutnya. Metode ekstraksi yang digunakan dalam analisa produk pencairan batubara adalah ekstraksi cair pelarut atau disebut juga ekstraksi cair-cair. Metode ini dipilih karena sangat baik dan sederhana dilakukan baik dalam skala mikro maupun makro untuk sampel cair. Prinsip metode ini didasarkan pada distribusi zat terlarut dengan perbandingan tertentu antara dua pelarut yang saling tidak campur, seperti benzena, karbon triklorida atau kloroform. Batasnya adalah zat terlarut ditransfer pada jumlah yang berbeda dalam kedua fase pelarut (Khopkar, 2003).

Penggunaan metode ekstraksi cair bertujuan untuk memisahkan aspalten yang masih terdapat pada produk pencairan batubara. Produk pencairan batubara, misal *middle oil* diekstraksi dengan pelarut kloroform dan *n*-heksana secara

berturut-turut sampai semua aspalten terendapkan. Pemisahan aspalten yang terkandung dalam produk pencairan batubara Thoresby (UK), batubara Pittsberg (US) dan batubara Elbistan (Turkey) dengan metode ekstraksi cair menggunakan pelarut kloroform dan *n*-heksana (Jones dkk., 1982).

### 2.8.2 Kromatografi Kolom

Kromatografi adalah suatu metode pemisahan senyawa campuran yang didasarkan atas distribusi komponen suatu senyawa campuran antar dua fase yaitu, fase diam (berupa padatan atau cairan pendukung padatan) dan fase gerak (berupa cairan atau gas). Kromatografi kolom merupakan teknik kromatografi cair-padat, fase diamnya berupa silika gel atau alumina yang berada dalam kolom, dan fase geraknya berupa eluen atau pelarut (eter, benzena, pentana, *n*-heksana, diklorometana, metanol) dan senyawa campuran yang akan dipisahkan. Prinsip kerja dari kromatografi kolom adalah eluen mengalir melalui kolom berdasarkan pengaruh gravitasi.

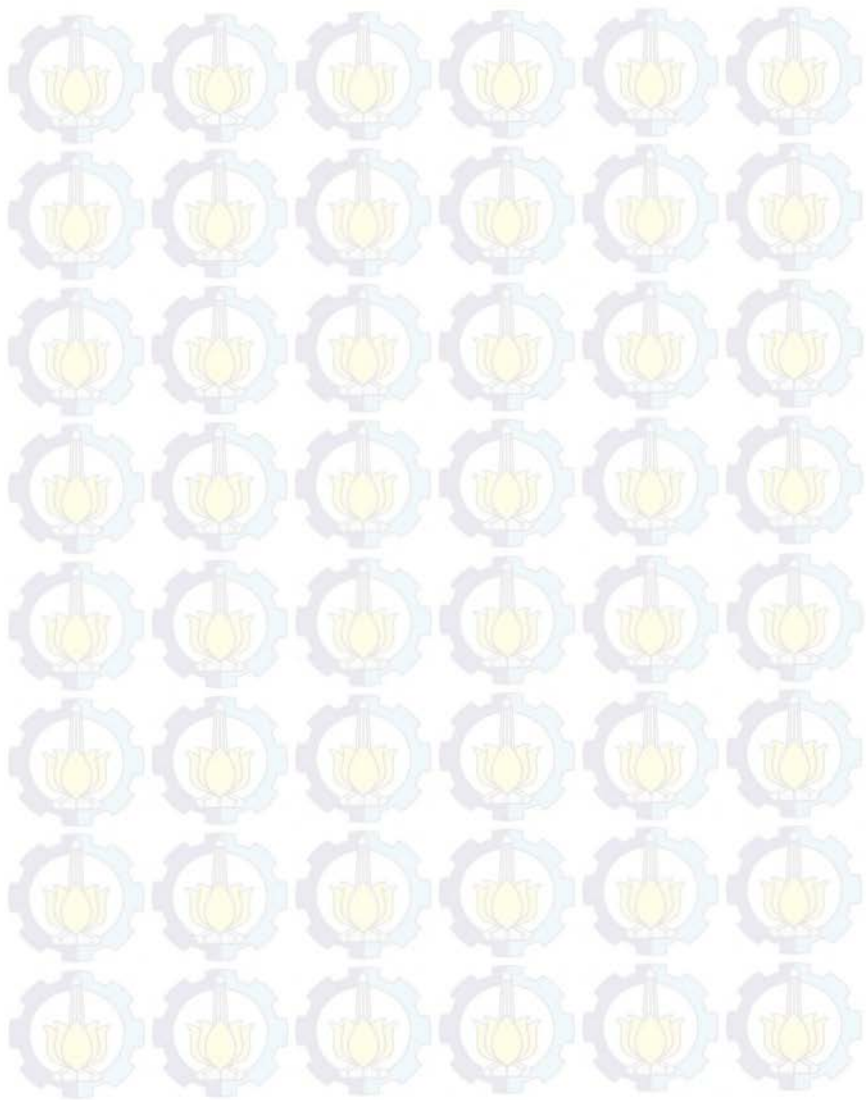
Pemisahan sampel batubara dari Zhoujing, cekungan Baise, Cina menjadi fraksi alifatik, fraksi aromatik dan fraksi NSO dengan kromatografi kolom eluen *n*-heksana, *n*-heksana/benzena dan metanol (Zhao dkk., 1990). Batubara dari cekungan Liohe, Cina dipisahkan dengan eluen *n*-heksana, metilen klorida dan metanol (Tuo dkk., 1998). Batubara yang berasal dari cekungan Rubielos se Mora dan Cerdanya dipisahkan dengan eluen *n*-heksana dan diklorometana/ heksana (de las Heras, dkk., 1991). Pemisahan batubara dipisahkan dengan kromatografi kolom silika gel dengan eluen *n*-heksana (fraksi alifatik), diklorometana (fraksi aromatik) dan methanol (polar). Biomarka yang terkandung dalam ekstrak batubara yaitu *n*-alkana, triterpenoid (hopana, ursana dan lupana) baik alifatik dan aromatik (Stout, 1992).

### 2.8.3 Kromatografi Gas-Spektrometri Massa (KG-SM)

Karakterisasi kromatografi gas-spektrometri massa (KG-SM) digunakan untuk mendeteksi dan mengidentifikasi

senyawa-senyawa berdasarkan waktu retensinya pada kromatografi gas (KG). Peralatan KG-SM dengan sistem komputer digunakan untuk melakukan evaluasi senyawa-senyawa biomarka. Kriteria utama untuk prosedur KG-SM supaya menghasilkan interpretasi yang bagus adalah menggunakan kolom kapiler resolusi tinggi (biasanya dengan panjang 50 m atau lebih), sinyal tinggi dari spektrometer massa dan proses scanning yang cepat (Peters dan Moldowan, 1993). Stout menggunakan KG-SM Hewlett Packard 5890 yang digabung dengan spektrometer massa VG 70-250SE. kolom kromatografi yang digunakan DB-5 dengan ketebalan film 0,25  $\mu\text{m}$  dan panjangnya 30 m. kondisi yang digunakan adalah suhu injektor 290 °C, kecepatan aliran 1 ml/menit. Hasil analisa berupa arus ion total (TIC) atau kromatogram hasil rekonstruksi ion (RIC) yang menggambarkan semua senyawa yang dideteksi oleh detektor KG-SM. Proses identifikasi senyawa dapat dilakukan dengan cara interpretasi spektra berdasarkan fragmen-fragmen khas yang dihasilkan. Analisa ini juga digunakan dari batubara Brazil untuk menentukan parameter dari tingkatan batubara dan komposisi materi organik serta lingkungan pengendapan (Silva dan Kalkreuth, 2005).

***Halaman ini sengaja dikosongkan***



## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1 Alat dan Bahan**

#### **3.1.1 Alat**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari *batch reactor (autoclave)*, *soxhlet extractor*, *rotary evaporator*, lumpang, ayakan 200 mesh, perangkat distilasi vakum, pipet pasteur, magnetik stirer, indikator universal, timbangan analitik, kromatografi kolom, kromatografi Lapis Tipis (KLT), perangkat Kromatografi Gas-Spektrometri Massa (KG-SM), botol vial dan peralatan gelas.

#### **3.1.2 Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi batubara Sub-bituminous Sumatera Selatan, n-heksana p.a, diklorometana (DCM) p.a, kloroform p.a, metanol p.a, katalis Limonite SH, sulfur, gas hidrogen, gas nitrogen, asam sulfat 10%, natrium hidroksida 10%, serbuk tembaga (Cu), silika gel G<sub>60</sub> Merck, kertas saring, aluminum foil, pasir laut, kapas dan aquabidest.

### **3.2 Prosedur Penelitian**

#### **3.2.1 Perlakuan Pendahuluan**

Perlakuan pendahuluan pada penelitian ini meliputi perlakuan pada kondisi geokimia, yaitu semua peralatan gelas dicuci dengan air sabun, dibilas dengan aquabidest, dikeringkan, kemudian dibilas menggunakan aseton dan diklorometana (DCM) dan selanjutnya dibungkus menggunakan aluminium foil. Distilasi pelarut yang digunakan yaitu n-heksana, kloroform, DCM, aseton dan metanol sesuai dengan prosedur pemurnian pelarut organik dengan menggunakan *molecular sieve*. Penghilangan lemak dan bahan organik pada peralatan seperti pipet pasteur, kapas, silika gel dan pasir laut dengan *soxhlet extractor*



menggunakan pelarut kloroform selama 36 jam. Aktivasi silika gel sebelum digunakan untuk kromatografi kolom pada suhu 105 °C selama 1 jam.

### 3.2.2 Pencairan Batubara

Proses pencairan batubara menggunakan peralatan *batch reactor autoclave* volume 1 L (AC 1L). Umpan terdiri dari sampel batubara berukuran 200 mesh, katalis Limonite SH, sulfur dan pelarut *Heavy Oil* (HO). Perbandingan jumlah masing-masing bahan didasarkan pada data hasil analisa proksimat. Campuran kemudian dihomogenkan menggunakan pengaduk dalam batch reactor dengan kecepatan 500 rpm. Kemudian, dilakukan deaerasi secara berturut-turut menggunakan gas nitrogen dan hidrogen sebanyak 3-4 kali pada tekanan 2 MPa, dengan cara mengalirkan kedalam reaktor ditahan beberapa saat lalu dibuang. Pembilasan dengan gas nitrogen dan hidrogen dilakukan masing-masing sebanyak tiga kali untuk menghilangkan gas oksigen didalam reaktor. Setelah itu, reaktor diuji kebocoran dengan cara mengisi reaktor menggunakan gas hidrogen pada tekanan 20-25 MPa, apabila tidak terdapat pengurangan signifikan pada tekanan maka reaktor dinyatakan tidak mengalami kebocoran dan proses pencairan siap dijalankan.

Proses pencairan dijalankan dengan cara membuka katup aliran air pendingin, menyalakan heater dan pengaduk dari kontrol panel. Setelah temperatur mencapai 450 °C, temperatur AC ditahan selama 60 menit dan kemudian reaktor didinginkan sampai temperatur kamar. Hasil yang diperoleh adalah berupa gas dan *slurry*. Gas dianalisa menggunakan kromatografi gas (KG) dan *slurry* difraksinasi menggunakan distilasi vakum pada tekanan 10 mmHg.

### 3.2.3 Distilasi Vakum *Slurry* Batubara

Pengolahan distilasi vakum produk bubur (*slurry*) batubara bertujuan untuk memisahkan produk *slurry* menjadi fraksi-fraksi berdasarkan perbedaan titik didihnya. Terdapat lima

fraksi yang didapatkan dengan pengolahan distilasi vakum ini, yaitu fraksi nafta (30-180 °C), *light oil* (LO) (180-220 °C), *middle oil* (MO) (220-350 °C), *heavy oil* (HO) (350-538 °C) dan *coal liquid bottom* (CLB) (>538 °C). selanjutnya, kelima fraksi didapat ditempatkan dalam botol vial. Dari kelima fraksi diatas hanya tiga fraksi yang akan dianalisa lebih lanjut menggunakan kromatografi gas-spektrometer massa (KG-SM), yaitu nafta, LO dan MO. Fraksi nafta dapat langsung diinjeksikan kedalam perangkat KG-SM, namun untuk LO dan MO dilakukan perlakuan tambahan untuk menghilangkan aspalten dan memisahkan menjadi beberapa fraksi sebelum dilakukan analisa KG-SM.

### 3.2.4 Ekstraksi Fraksi *Light Oil* (LO)

Ekstraksi terhadap *fraksi Light Oil* (LO) bertujuan untuk mendapatkan minyak netral bebas aspalten dari fraksi LO, yaitu dengan cara menghilangkan kandungan aspalten, garam asam dan garam basanya. Aspalten yang terdapat dalam fraksi LO diendapkan dengan proses ekstraksi menggunakan pelarut kloroform dan *n*-heksana dengan pengadukan menggunakan magnetik stirer. Campuran selanjutnya didekantasi untuk memisahkan minyak bebas aspalten dan endapan aspaltennya.

Fraksi minyak yang bebas aspalten kemudian ditambahkan asam sulfat 10% hingga mencapai pH 2 untuk memisahkan garam asam dan natrium hidroksida 10% hingga pH 12 untuk memisahkan dari garam basanya, sehingga didapatkan minyak netral bebas aspalten (Jones, dkk., 1992).

### 3.2.5 Fraksinasi Minyak Netral dari Fraksi *Light Oil* (LO)

Fraksinasi minyak netral dari hasil ekstraksi fraksi LO bertujuan untuk mendapatkan fraksi alifatik, aromatik dan polar (mengandung nitrogen, sulfur dan oksigen atau NSO). Kromatografi kolom digunakan untuk mendapatkan masing-masing fraksi dengan menggunakan eluen terdiri dari *n*-heksana untuk fraksi alifatik, *n*-heksana:diklorometana (DCM) (9:1 v/v) untuk fraksi aromatik dan metanol untuk fraksi polar

yang mengandung NSO (Widodo, dkk., 2009). Selanjutnya, untuk memisahkan masing-masing fraksi dengan pelarut digunakan *rotary evaporator*. Fraksi pekat dipindahkan dari labu evap kedalam botol vial menggunakan larutan diklorometana dan dikeringkan menggunakan gas nitrogen (dengan cara ditiupkan). Pada fraksi aromatik dilakukan desulfurisasi menggunakan serbuk tembaga.

### **3.2.6 Analisa dengan Kromatografi Gas(KG)-Spektrometri Massa (MS)**

Fraksi Nafta, alifatik LO dan aromatik LO masing-masing dipersiapkan sebanyak 1 mg sebagai sampel yang akan dianalisa. Sampel yang pekat dilarutkan menggunakan pelarut n-heksana. Sampel yang telah dilarutkan dalam pelarut diambil sebanyak 1  $\mu\text{L}$  dan diinjeksikan kedalam peralatan KG-SM. Peralatan KG-SM yang digunakan adalah Shimadzu kolom Rastek RXi-5MS dengan panjang 30 m, diameter internal 0,25 mm dan temperatur sumber ion 250 °C. Program temperatur dijalankan pada 50 °C (ditahan 5 menit), 50-300 (10 °C/menit) dan isothermal 300 °C (ditahan 25 menit). Data yang didapat adalah berupa kromatogram KG dan spektra massa dari SM. Kromatogram didapat diolah dengan program Shimadzu Lab Solutions sehingga didapatkan spektra massa senyawa penyusun batubara cair.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pencairan Batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan

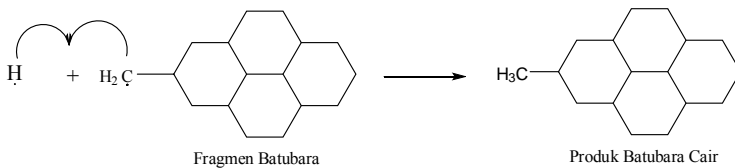
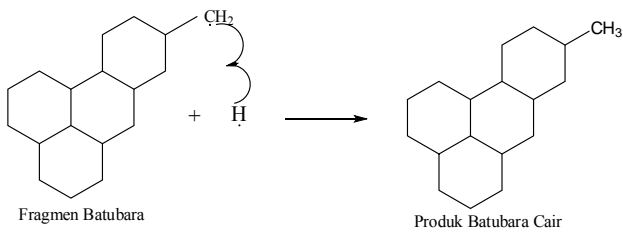
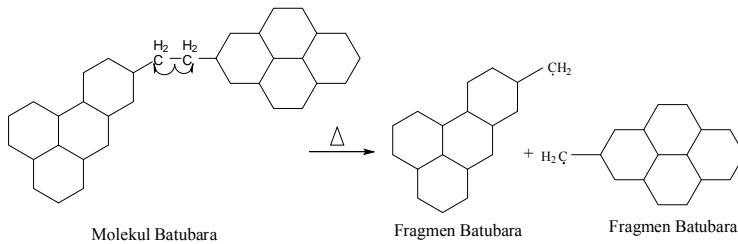
Proses pencairan batubara dilakukan dalam *reactor batch autoclave* (AC) 1 Liter. Jumlah masing-masing umpan yang dipergunakan dalam proses pencairan batubara dihitung berdasarkan hasil analisa proksimat batubara sub-bituminus, karakteristik pelarut *heavy oil* (HO) dan karakteristik katalis Limonite SH yang dipergunakan. Hasil analisa proksimat batubara sub-bituminus Sumatera Selatan ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Analisa Proksimat Batubara sub-bituminus  
Sumatera Selatan

Analisa Proksimat	Kandungan dalam Batubara (%)
Air	14.84
Abu	3.26
Material Volatil	38.80
<i>Fixed Carbon</i> (diff)	43.10

Umpan (*feed*) yang digunakan adalah sampel batubara sub-bituminus Sumatera Selatan, katalis limonit SH, pelarut *heavy oil* (HO), belerang co-katalis dan gas  $H_2$ . Selama proses pencairan batubara, pelarut berfungsi dalam menstabilkan senyawa radikal bebas yang terbentuk selama dekomposisi termal. Radikal-radikal bebas yang terbentuk bereaksi dengan pelarut yang berfungsi sebagai donor hidrogen (Shinn, 1984). Reaksi yang terjadi selama proses pencairan ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

Tahapan pertama adalah pembentukan radikal bebas dan dilanjutkan dengan penstabilan radikal bebas membentuk produk batubara cair.



Komposisi umpan yang digunakan dihitung berdasarkan analisa proksimat batubara (tabel 4.1) sehingga digunakan umpan dalam tabel 4.2.

Tabel 4.2 Komposisi Umpan Pencairan Batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan

Komposisi	Umpan (g)					
	Batubara Sub-Bituminus	Pelarut HO	Katalis Limonit SH	Belerang	Gas H <sub>2</sub>	Total Umpan (g)
H <sub>2</sub> O	11.13					<b>11.54</b>
Abu	2.45					<b>2.45</b>
Dafc	61.45					<b>61.45</b>
LO		0.95	0.02			<b>0.97</b>
MO		21.42	0.47			<b>21.89</b>
HO		114.56	2.49			<b>117.05</b>
CLB			0.00			<b>0.00</b>
Fe			0.63			<b>0.63</b>
<b>Total (g)</b>	<b>75.03</b>	<b>136.93</b>	<b>4.02</b>	<b>0.74</b>	<b>4.57</b>	<b>221.29</b>

Keterangan : LO = *Light Oil*  
MO = *Middle Oil*  
HO = *Heavy Oil*  
CLB = *Coal Liquid Bottom*  
Dafc = Batubara bebas air dan abu

Umpan sebanyak 221.29 gram dimasukkan kedalam *autoclave* 1 liter. Proses pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan dilakukan pada suhu 450 °C, dan tekanan 12 MPa selama 60 menit. Hasil yang diperoleh terdiri dari produk cair (*slurry*) dan produk gas. Jumlah produk total pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Produk pencairan total batubara sub-bituminus Sumatera Selatan

Produk Pencairan Total	Jumlah	
	Berat (g)	% wt
Produk Pencairan Total Terukur:		
a. Produk Cair ( <i>Slurry</i> )	203.9	92.14
b. Gas (H <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , C <sub>1</sub> -C <sub>4</sub> dan H <sub>2</sub> S)	13.43	6.07
Produk Pencairan Total tidak Terukur	3.96	1.79
<b>Total</b>	<b>221.29</b>	<b>100.00</b>

Produk pencairan batubara sub-bituminus terukur sebesar 203.9 gram (92.14 %w/w) yang terdiri atas produk cair (*slurry*) dan produk gasnya sebesar 13.43 gram (6.07 %w/w). Jumlah rendemen yang tidak terukur sebesar 3.96 gram (1.79 %w/w). Produk pencairan total tidak terukur diperkirakan merupakan produk cair (*slurry*) yang tertinggal dalam *autoclave* dan produk gas yang terbuang saat proses pembilasan *sample bag*. *Sample bag* digunakan sebagai wadah untuk menampung gas yang akan dianalisa dengan kromatografi gas TCD dan FID untuk mengetahui konsentrasi gas H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> dan gas senyawa hidrokarbon (C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>). Prosentase rendemen yang diperoleh dari proses pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan adalah 96.68 %.

Produk cair yang diperoleh dari hasil pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan sebanyak 203.9 gram yang terdiri dari 165.30 gram *slurry* yang tertampung dan 38.6 gram *slurry* tidak tertampung. Selisih massa tersebut merupakan massa *slurry* yang hilang karena tertinggal pada peralatan pencairan.

Produk *slurry* tertampung sebanyak 165.30 gram difraksinasi dengan distilasi vakum pada tekanan 10 mmHg. Produk yang dihasilkan pada proses fraksinasi tersebut adalah H<sub>2</sub>O, naphtha, *light oil* (LO), *middle oil* (MO), *heavy oil* (HO) dan *coal liquid bottom* (CLB), jumlah dari masing-masing produk fraksinasi ditunjukkan pada tabel 4.4. Fraksinasi 165.30 gram *slurry* total pencairan batubara menghasilkan 6 fraksi, terdiri dari fraksi H<sub>2</sub>O, Naphta, LO, MO, HO dan CLB.

Tabel 4.4 Hasil distilasi produk cair total batubara sub-bituminus Sumatera Selatan

Slurry (g)	Produk Fraksinasi	Warna	Jumlah	
			Berat (g)	% wt
165.30	H <sub>2</sub> O	Titak berwarna	15.2	9.19
	Naphta	Kuning bening	2.4	1.45
	LO	Kuning kecoklatan	1.1	0.67
	MO	Coklat kemerahan	58.1	35.15
	HO	Coklat gelap	65.2	39.44
	CLB	Hitam	23.3	14.1
<b>Total</b>			<b>165.3</b>	<b>100</b>

Data-data kuantitatif pada tabel 4.2, tabel 4.3 dan tabel 4.4 dikorelasikan untuk menghitung berat masing-masing fraksi secara kuantitatif dari produk cair dan gas hasil pencairan. Berikut data produk pencairan batubara sub-bituminus



Sumatera Selatan hasil perhitungan (lampiran 2), yang ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Produk Pencairan Batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan

<b>Produk Pencairan</b>	<b>Berat (g)</b>	<b>% wt</b>
Produk cair:		
a. H <sub>2</sub> O	7.84	10.45
b. Nafta	2.4	3.2
c. LO	0.44	0.59
d. MO	52.24	69.62
e. HO	-33.87	-45.14
f. CLB	29.73	39.62
<b>Sub Total</b>	<b>58.78</b>	<b>78.34</b>
Produk Gas:		
a. CO+CO <sub>2</sub>	1.06	1.41
b. C <sub>1</sub> -C <sub>4</sub>	8.56	11.41
<b>Sub Total</b>	<b>9.62</b>	<b>12.82</b>
<b>Total</b>	<b>68.4</b>	<b>91.16</b>
<b>Berat yang tidak terukur</b>	<b>6.63</b>	<b>8.84</b>
<b>Total sample</b>	<b>75.03</b>	<b>100</b>

Produk total hasil pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan adalah 68.4 gram (91.16 %w/w), dengan produk yang tidak terukur sebesar 6.63 gram (8.84 %w/w). Destilat total yang dihasilkan pada pencairan batubara tersebut dari 75.03 gram sampel batubara. Destilat total yang dihasilkan dari 75.03 gram terdiri dari fraksi nafta sebesar 2.4 gram (3.2 %w/w), LO sebesar 0.44 gram (0.59 %w/w), MO sebesar 52.24 gram (69.62 %w/w) dan fraksi HO sebesar -33.87 gram (-45.14 %w/w) serta produk gas yang meliputi CO, CO<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub> sebesar 9.62 gram (12.82 %w/w). Hasil terbesar yang diperoleh adalah fraksi MO. Sedangkan, HO

berharga minus karena dalam proses pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan tidak dihasilkan fraksi HO. Melainkan, fraksi HO yang merupakan pelarut berkurang selama proses pencairan.

Produk yang dihasilkan dari proses pencairan dipengaruhi oleh pelarut, katalis dan jenis batubara yang digunakan serta kondisi reaksi selama pencairan, yang meliputi temperatur, tekanan dan waktu. Peningkatan temperatur pada proses pencairan dapat memutus ikatan-ikatan eter ataupun gugus karboksil yang terkandung pada batubara, sehingga dapat dihasilkan produk hidrokarbon cair seperti yang terkandung dalam minyak bumi (yoshida dkk., 1985). Fraksi nafta, LO dan MO mengandung senyawa-senyawa hidrokarbon penyusun bahan bakar cair. Fraksi nafta merupakan gas yang tidak mengandung aspalten sehingga dapat dianalisa KG secara langsung. Namun, pada fraksi LO dan MO masih mengandung aspalten, maka pada tahap selanjutnya masih perlu dilakukan ekstraksi cair untuk memisahkan fraksi LO dan MO dari aspalten.

#### **4.2 Ekstraksi Fraksi *Light Oil* (LO)**

Fraksi *light oil* (LO) sebanyak 0.44 gram diekstraksi secara berturut-turut menggunakan kloroform dan *n*-heksana untuk memisahkan aspalten. Aspalten didapatkan dengan cara dekantasi dan didapat ekstrak berwarna coklat tua. Selanjutnya ekstrak minyak bebas aspalten yang telah didapatkan ditambahkan asam sulfat 10% sampai pH 2 dan natrirum hidroksida 10% sampai pH 12 sehingga didapatkan fraksi minyak netral LO yang berwarna coklat, aspalten dan garam  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

#### **4.3 Fraksinasi Fraksi Minyak Netral dari *Light Oil* (LO)**

Minyak netral LO dari hasil ekstraksi difraksinasi kembali menjadi tiga fraksi berdasarkan kepolarannya, yaitu fraksi alifatik, fraksi aromatik dan fraksi polar dengan menggunakan kromatografi kolom. Fasa diam yang digunakan adalah silika

gel dan larutannya (fasa gerak) terdiri dari *n*-heksana untuk memperoleh fraksi alifatik, campuran *n*-heksana:diklorometana (9:1 v/v) untuk mendapatkan fraksi aromatik dan metanol untuk fraksi polar. Sebelum tahapan fraksinasi dilakukan, silika gel (fasa diam) dalam kolom dibilas dengan larutan *n*-heksana, tujuannya adalah untuk merapatkan fasa diam. Tahapan fraksinasi dimulai dengan cara melewatkan ketiga larutan diatas satu persatu untuk mendapatkan fraksi masing-masing dan untuk memonitor proses fraksinasi digunakan plat KLT. Plat KLT digunakan untuk mengetahui apakah fraksi telah turun sempurna. Setiap fraksi yang diperoleh ditampung dalam labu bundar dan dihilangkan pelarutnya dengan *rotary evaporator*. Hasil yang diperoleh selanjutnya dipindahkan kedalam botol vial dan dikeringkan dengan menggunakan gas nitrogen untuk menghilangkan sisa-sisa pelarut.

Fraksi yang diperoleh dari fraksinasi minyak netral LO terdiri dari fraksi alifatik yang berwarna kuning kehijauan, fraksi aromatik yang berwarna coklat muda dan fraksi polar yang berwarna coklat tua. Selanjutnya hanya fraksi alifatik dan aromatik yang akan dianalisa menggunakan KG-SM, namun pada fraksi aromatik terlebih dahulu dilakukan tahapan desulfurisasi untuk menghilangkan kandungan belerang. Proses desulfurisasi adalah dengan cara melewatkan fraksi aromatik dengan pelarut diklorometana (DCM) melalui serbuk tembaga (Cu) dan dikeringkan kembali menggunakan gas nitrogen. Fraksi yang telah didapatkan selanjutnya dianalisa menggunakan KG-SM. Pada tahapan fraksinasi minyak netral terhadap fraksi *light oil* didapatkan fraksi alifatik sebanyak 0.0642 gram (0.086 %) dan fraksi aromatik sebanyak 0.3159 gram (0.4210 %).

#### 4.4 Identifikasi Senyawa Penyusun Bahan Bakar Cair

Produk hasil pencairan yang telah difraksinasi berdasarkan titik didih (nafta dan *light oil*) dan telah didapatkan fraksi alifatik dan aromatik dari minyak netral LO selanjutnya

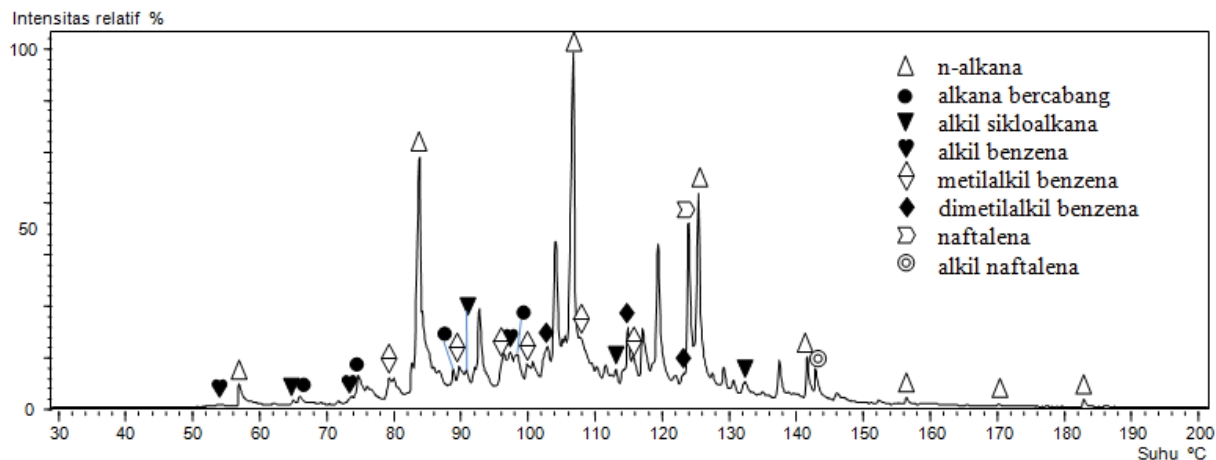


dianalisa KG-SM. Analisa ini bertujuan untuk mengidentifikasi kandungan senyawa yang dapat digunakan sebagai bahan bakar cair serta korelasinya dengan biomarka batubara sub-bituminus Sumatera Selatan.

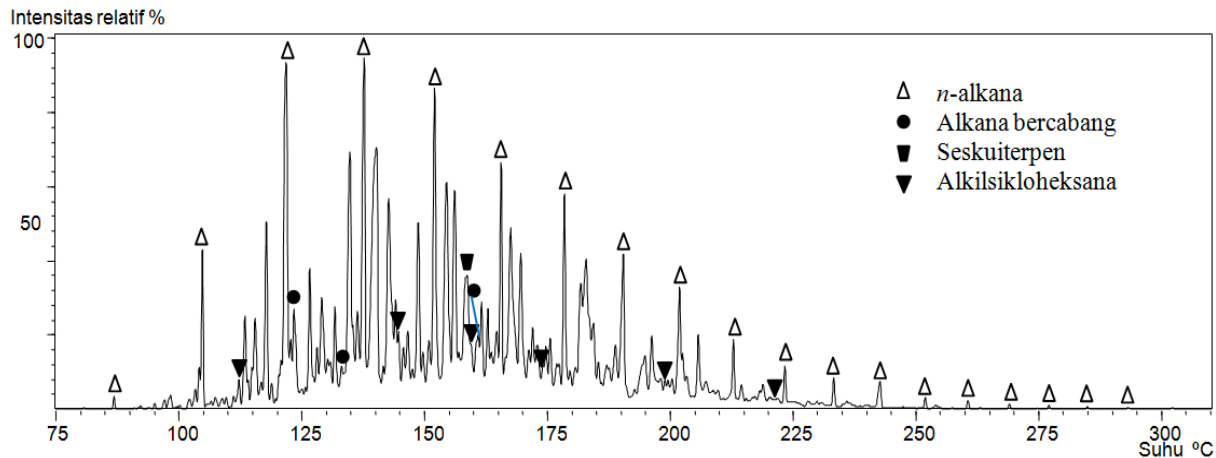
#### 4.4.1 Fraksi Hidrokarbon Alifatik

Analisa KG-SM terhadap ketiga fraksi yang terdiri dari fraksi nafta, fraksi alifatik LO dan aromatik LO menghasilkan kromatogram total seperti pada gambar 4.1 untuk fraksi nafta dan gambar 4.2 untuk fraksi alifatik LO serta aromatik LO yang akan dibahas pada sub bab fraksi hidrokarbon aromatik. Ketiga kromatogram telah dianalisa untuk mengetahui kandungan senyawa penyusun bahan bakar cair dan kemiripan senyawa penyusun produk pencairan batubara Sumatra Selatan terhadap senyawa penyusun minyak bumi secara umum. Produk pencairan batubara sub-bituminus Black Thunder, Wiyodak Anderson Seam juga telah diketahui mengandung komponen dasar penyusun bahan bakar yang mirip dengan senyawa hasil fraksinasi dari minyak bumi, dimana nafta identik dengan bensin dan LO identik dengan kerosin (Zhou, dkk., 1992; Brandes dan Winschel, 1999). Komponen senyawa alifatik terdiri dari beberapa senyawa, diantaranya *n*-alkana, alkana bercabang, seskuiterpen dan sikloalkana dan turunannya. Senyawa-senyawa yang terdapat dalam fraksi nafta memiliki titik didih 40 °C-170 °C dan LO 80 °C-225 °C.

Komposisi senyawa penyusun bahan bakar cair yang salah satunya terdiri dari senyawa alifatik menjadikan hasil analisa KG-SM diidentifikasi untuk mengetahui senyawa alifatik terkandung. Senyawa *n*-alkana adalah senyawa alifatik yang dominan ditemukan dalam produk pencairan batubara. Senyawa *n*-alkana juga merupakan senyawa yang dominan ditemukan dalam produk batubara cair low rank Kalimantan Timur (Ulfa, 2011) dan produk batubara cair sub-bituminus Black Thunder (Robbins, dkk., 1992).



Gambar 4.1 Kromatogram total fraksi hidrokarbon alifatik- dan aromatik-nafta produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-300°C (4°C/menit) dan isothermal pada 300°C selama 30 menit.



Gambar 4.2 Kromatogram total fraksi hidrokarbon alifatik *light oil* (LO) produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.

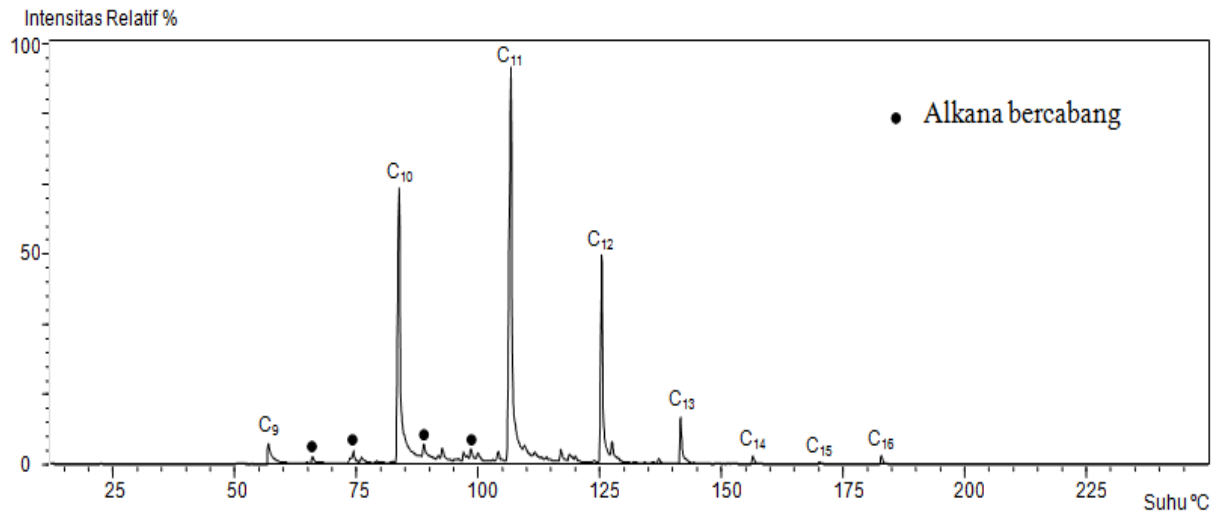
### Senyawa *n*-alkana

Distribusi senyawa *n*-alkana pada masing-masing fraksi nafta dan alifatik diidentifikasi berdasarkan fragmentogram  $m/z$  57. Hasil identifikasi senyawa *n*-alkana pada fraksi nafta ditunjukkan pada gambar 4.3 dan fraksi alifatik *light oil* (LO) pada gambar 4.4.

Senyawa *n*-alkana dan alkana bercabang adalah golongan parafinik yang terdapat dalam minyak bumi. Parafin (*n*-alkana dan alkana bercabang) dan naftena (sikloalkana dan sikloalkana bercabang) terdapat didalam minyak bumi sebagai hidrokarbon jenuh (*saturated hydrocarbons*). Hidrokarbon jenuh terdapat didalam minyak bumi kebanyakan dengan kelimpahan 60 % yang menjadikan komponen hidrokarbon jenuh merupakan komponen paling penting didalam bahan bakar (Tissot dan Welte, 1984). Komponen senyawa *n*-alkana juga tercatat terdapat dalam jumlah yang dominan dalam fraksi nafta, *light oil* (LO) dan *middle oil* (MO) dari produk pencairan batubara *low rank* Kalimantan Timur (Ulfa, 2011) dan produk pencairan batubara sub-bituminus Black Thunder (Robbins, dkk., 1992).

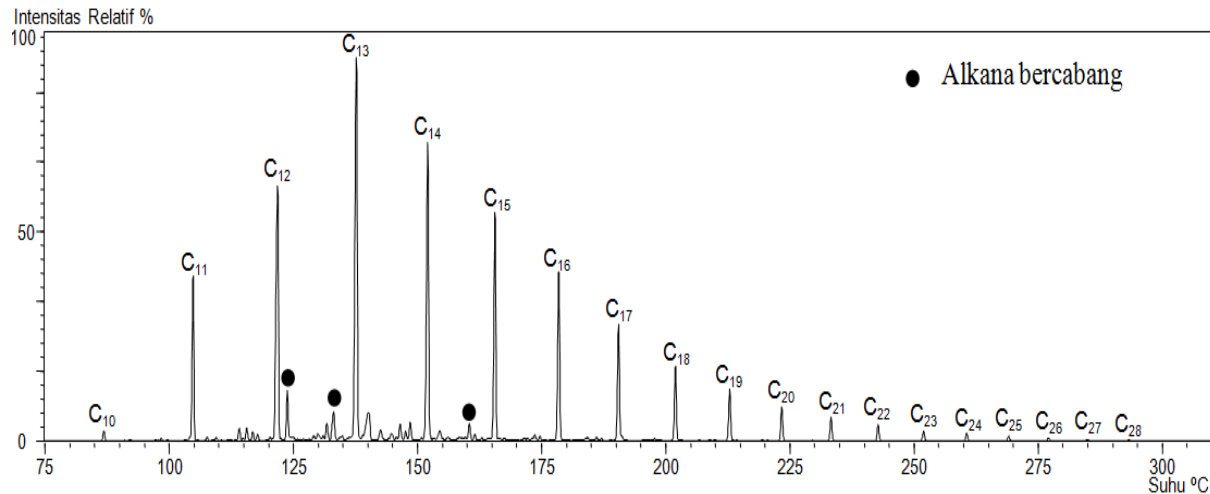
Senyawa alkana rantai lurus  $C_1$ - $C_{40}$  terdapat didalam minyak bumi dengan kelimpahan sebanyak 15-20 % dan *n*-alkana dengan berat molekul rendah ( $C_5$ - $C_7$ ) merupakan komponen penting penyusun minyak bumi. Senyawa *n*-heptana teridentifikasi dalam jumlah besar (4 %vol) dalam minyak bumi Fasken, Ordovician, Texas (Smith, 1968). Selain senyawa *n*-alkana ringan juga terdapat senyawa *n*-alkana dengan berat molekul besar, komposisi jumlah unsur  $C > 10$  dalam banyak minyak bumi akan berkurang secara reguler (Tissot dan Welte, 1984).

Identifikasi puncak-puncak kromatogram berdasarkan pada fragmentogram  $m/z$  57 sebagai puncak dasar (*base peak*) untuk senyawa *n*-alkana. Puncak  $m/z$  57 muncul karena terlepasnya gugus ( $C_4H_9^+$ ). Ion molekul ( $M^+$ ) pada identifikasi puncak memberikan informasi panjang rantai *n*-alkana.



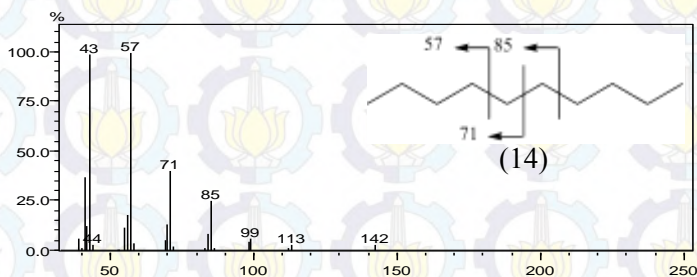
Gambar 4.3 Fragmentogram  $m/z$  57 fraksi hidrokarbon alifatik nafta produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.





Gambar 4.4 Fragmentogram  $m/z$  57 fraksi hidrokarbon alifatik *light oil* (LO) produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.

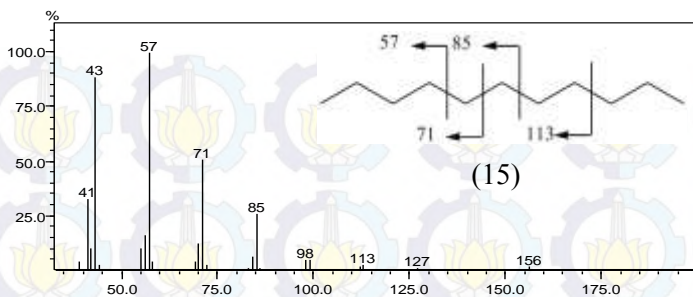
Spektrum massa beberapa puncak *n*-alkana yang menunjukkan puncak dasar  $m/z$  57 dan ion molekul ditunjukkan pada gambar 4.5, 4.6, 4.7 dan 4.8.



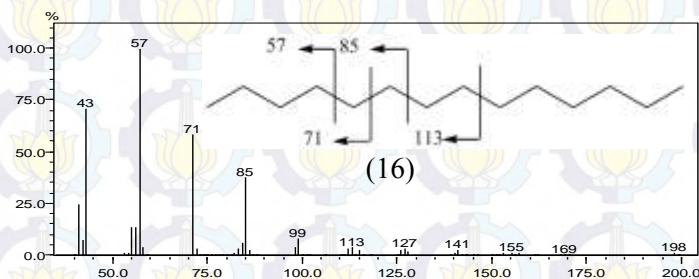
Gambar 4.5 Spektrum massa *n*-dekana C<sub>10</sub>H<sub>22</sub> (14)

Spektrum massa pada gambar 4.5 menunjukkan fragmen ion diantaranya  $m/z$  43, 57 (puncak dasar), 71, 85, 99, 113 dan 142 (ion molekul). Fragmen-fragmen pada spektrum massa tersebut membentuk pola linier dengan penambahan 14 satuan. Pola penambahan 14 satuan merupakan pola khas golongan *n*-alkana (Silverstein, 1998). Berdasarkan hasil elusidasi spektrum massa (gambar 4.5) senyawa memiliki berat molekul sebesar 142 sehingga teridentifikasi sebagai senyawa *n*-dekana C<sub>10</sub>H<sub>22</sub> (14).

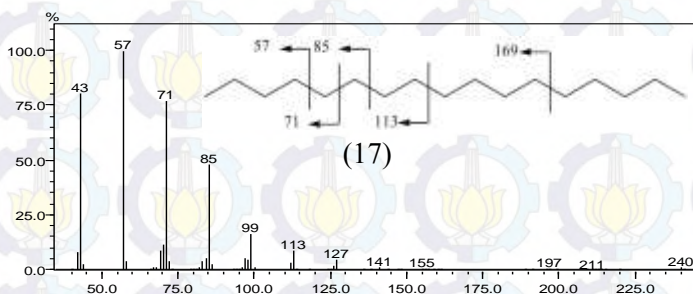
Elusidasi pada spektrum massa selanjutnya, yaitu spektrum massa gambar 4.6, 4.7 dan 4.8, dengan menggunakan pola fragmentasi yang sama diketahui ion molekul masing-masing adalah sebesar 156, 198 dan 240 sehingga teridentifikasi merupakan senyawa *n*-undekana C<sub>11</sub>H<sub>24</sub> (15), *n*-tetradekana C<sub>14</sub>H<sub>30</sub> (16) dan *n*-heptadekana C<sub>17</sub>H<sub>36</sub> (17).



Gambar 4.6 Spektrum massa *n*-undekana  $C_{11}H_{24}$ (15)



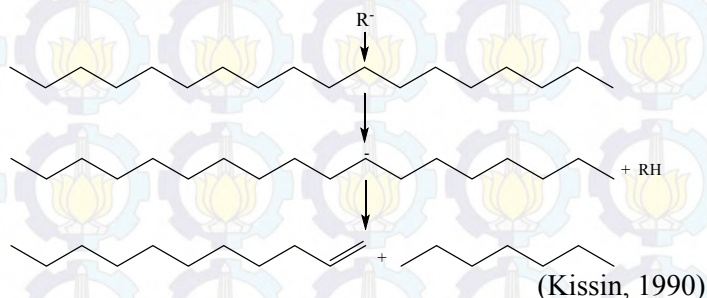
Gambar 4.7 Spektrum massa *n*-tetradekana  $C_{14}H_{30}$ (16)



Gambar 4.8 Spektrum massa *n*-heptadekana  $C_{17}H_{36}$ (17)

Identifikasi menyeluruh terhadap senyawa *n*-alkana dalam produk pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan

menghasilkan sebaran senyawa, yaitu *n*-alkana  $C_9$ - $C_{16}$  pada fraksi nafta dan  $C_{10}$ - $C_{28}$  pada fraksi LO. Dominasi produk senyawa *n*-alkana rantai pendek pada hasil pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan diperkirakan berasal dari *thermocracking* senyawa *n*-alkana rantai panjang ( $C_{14}$ - $C_{24}$ ) yang ditemukan oleh Renawati (2006). Hasil ini diperkuat dengan adanya penelitian yang dilakukan oleh Kissin (1990) yang menemukan senyawa *n*-alkana rantai pendek sebagai produk utama dari reaksi radikal *cracking* *n*-alkana rantai panjang ( $n$ - $C_{22}H_{36}$ ) murni dan Burkle (2011) juga menemukan adanya *n*-alkana rantai pendek sebagai salah satu hasil pirolisa senyawa campuran *n*-alkana  $C_1$ - $C_{32}$ . Mekanisme *cracking* *n*-alkana rantai panjang yang menghasilkan *n*-alkana rantai pendek ditunjukkan pada reaksi dibawah.



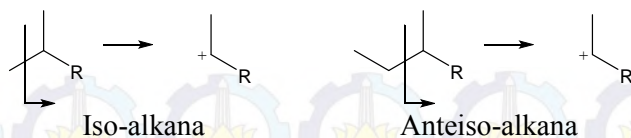
Sebaran senyawa *n*-alkana hasil pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan memiliki komposisi yang mirip dengan komposisi *n*-alkana dalam minyak bumi. Namun, memiliki beberapa perbedaan karakteristik: (1) Senyawa *n*-alkana hasil pencairan batubara fraksi nafta dan LO terdapat dalam homolog ( $C_9$ - $C_{28}$ ) berbeda dengan minyak bumi yang terdapat dalam homolog ( $C_1$ - $C_{40}$ ) dan ketidakhadiran dari senyawa *n*-heptana (produk utama minyak bumi) pada hasil pencairan batubara. Hal ini dikarenakan produk *n*-alkana dengan berat molekul besar memiliki titik didih yang tinggi dimana nafta terbatas pada suhu  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $170\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan LO pada



suhu 80 °C-225 °C. (2) sebaran *n*-alkana dengan berat molekul besar ( $>n\text{-C}_{20}$ ) hasil pencairan batubara terdapat dalam jumlah kecil, berbeda dengan minyak bumi dimana keberadaan *n*-alkana berat molekul besar terdapat dalam jumlah yang besar. Kehadiran *n*-alkana bermolekul besar dalam jumlah yang tidak signifikan pada produk pencairan batubara fraksi nafta dan LO tentunya memberikan hal positif, karena semakin banyak *n*-alkana bermolekul besar maka semakin tinggi pula nilai *cloud point* dari bahan bakar (Tissot dan Welte, 1984). Collins (2007) dalam penelitiannya juga menyebutkan bahwa senyawa *n*-alkana  $\text{C}_4\text{-C}_{12}$  merupakan komponen penyusun bahan bakar bensin atau gasolin,  $\text{C}_9\text{-C}_{14}$  merupakan komponen penyusun bahan bakar kerosin atau bahan bakar jet dan  $\text{C}_{13}\text{-C}_{20}$  merupakan komponen penyusun bahan bakar solar. Oleh karena itu, produk hasil pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan fraksi nafta ( $\text{C}_9\text{-C}_{16}$ ) memiliki potensi sebagai bahan bakar cair pengganti bensin atau kerosin sedangkan fraksi LO ( $\text{C}_{10}\text{-C}_{28}$ ) memiliki potensi sebagai bahan bakar cair pengganti kerosin atau solar.

### Senyawa Alkana Bercabang

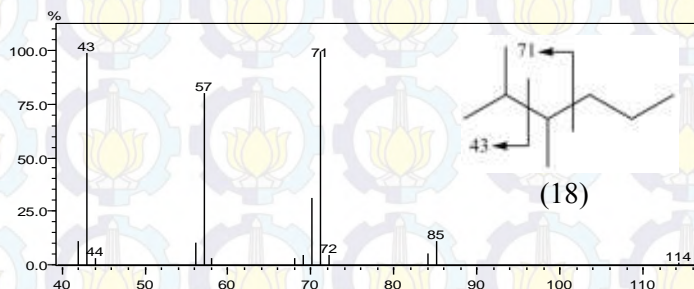
Identifikasi pada fragmentogram  $m/z$  57 untuk senyawa *n*-alkana pada fraksi nafta dan alifatik LO batubara sub-bituminus Sumatera Selatan juga memberikan informasi sebaran senyawa alkana bercabang. Namun, berbeda dengan spektrum massa *n*-alkana pada spektrum massa golongan alkana bercabang terdapat peningkatan intensitas pada  $\text{M}^+ -15$  dan  $-29$ . Hal ini mengindikasikan senyawa memiliki cabang metil pada posisi nomor 2 (iso) atau nomor 3 (anteiso) oleh karena posisi pemutusan ikatan yang lebih disukai (Philp, 1985).



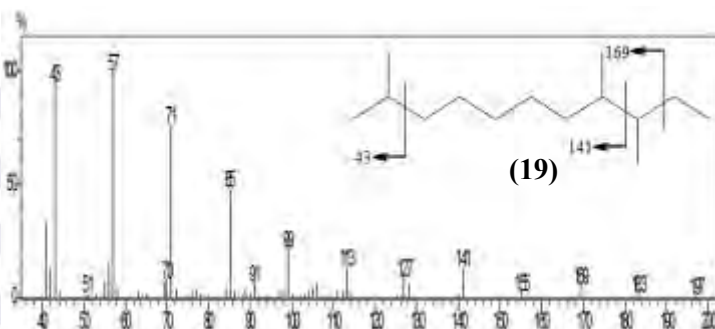
Gambar 4.9 Struktur umum iso- dan anteiso-alkana

Alkana bercabang terdapat didalam minyak mentah kebanyakan sebagai alkana bercabang dengan jumlah atom C berjumlah 10 atau kurang. Sedangkan, alkana bercabang dengan jumlah karbon lebih panjang teridentifikasi dalam jumlah yang kecil. Hal ini juga dikarenakan jumlah isomer yang sangat beragam (Tissot dan Welte, 1984).

Identifikasi senyawa alkana bercabang pada fraksi nafta (gambar 4.3) dan fraksi alifatik LO (gambar 4.4) dapat dilihat dalam gambar 4.10 dan 4.11.



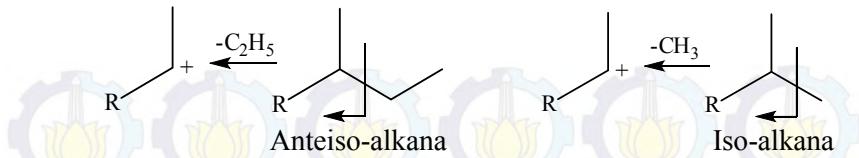
Gambar 4.10 Spektrum massa 2,3-dimetilheksana,  $C_8H_{18}$  (18)



Gambar 4.11 Spektrum massa 2,8,9-trimetilundekana,  $C_{14}H_{30}$  (19)

Analisa terhadap spektrum massa pada gambar 4.10 dan 4.11 menunjukkan adanya peningkatan intensitas pada spektra yang menunjukkan ciri khas senyawa golongan alkana bercabang. Terlihat pada spektra massa gambar 4.10 terjadi peningkatan intensitas pada puncak  $m/z$  43 dan 71 sedangkan gambar 4.11 terjadi kenaikan intensitas pada puncak  $m/z$  43, 141 dan 169. Hal ini mengindikasikan pemutusan ikatan C-C yang lebih disukai pada daerah ini. Senyawa alkana bercabang diatas diketahui memiliki ion molekul sebesar 114 dan 198 sehingga diketahui merupakan senyawa 2,3-dimetilheksana,  $C_8H_{18}$  (18) dan 2,8,9-trimetilundekana,  $C_{14}H_{30}$  (19).

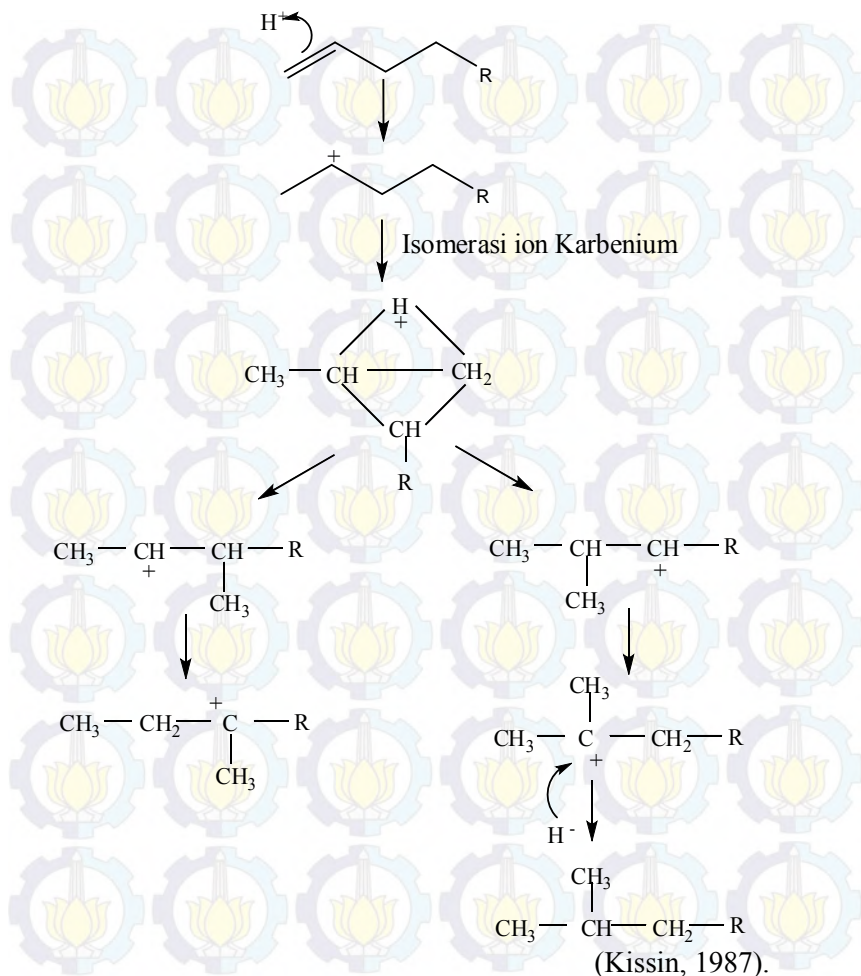
Identifikasi menyeluruh terhadap senyawa alkana bercabang dalam produk pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan menghasilkan sebaran senyawa pada fraksi nafta, yaitu alkana bercabang  $C_8$ - $C_{10}$  yang terdiri dari 2-metiloktana, 2,3-dimetilheksana, 2-metilnonana dan 3-metilnonana, sedangkan pada fraksi LO, alkana bercabang  $C_{13}$ - $C_{14}$  yang terdiri dari 6-metildodekana, 5,7-dimetilundekana dan 2,8,9-trimetilundekana. Keberadaan senyawa iso- dan anteiso-alkana juga ditemukan sebagai produk hasil pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan, yaitu 2-metiloktana, 2-metilnonana dan 3-metilnonana.



Senyawa iso- dan anteiso-alkana merupakan senyawa yang sering ditemukan dalam produk batubara cair, minyak mentah dan sedimen (White, dkk., 1977). Senyawa iso- dan anteiso-alkana diperkirakan berasal dari thermocracking senyawa monometil-substitusi alkana (Burkle, 2011) dan  $\alpha$ -olefin yang terbentuk selama proses cracking *n*-alkana rantai panjang. Hal ini sesuai dengan penelitian Kissin (1987) yang menemukan distribusi senyawa campuran kompleks isoalkana melalui  $\alpha$ -olefin yang terbentuk selama thermocracking *n*- $C_{24}H_{50}$  murni. Mekanisme terbentuknya senyawa iso-alkana dari prekursor  $\alpha$ -olefin ditunjukkan pada reaksi dibawah.



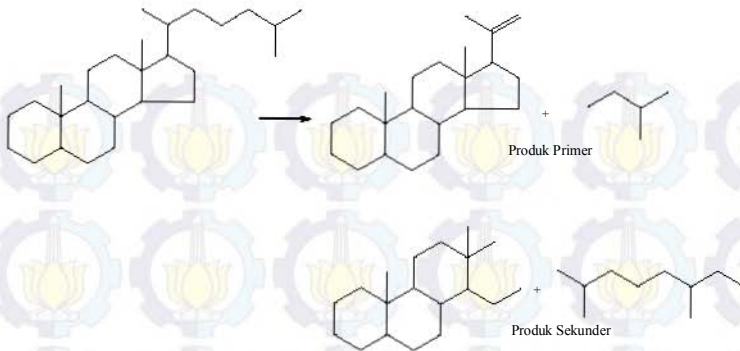
## Pembentukan Ion Karbenium



Senyawa *light* alkana asiklik isoprenoid yang banyak ditemukan dalam produk pencairan batubara medium rank Kalimantan Timur (Najamuddin, 2011) tidak ditemukan pada produk pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan.

Hal ini diperkirakan karena senyawa pristan dan fitan tidak ditemukan dalam biomarka batubara sub-bituminus Sumatera Selatan. Selain itu, keberadaan senyawa isoprenoid yang sangat sedikit (isoprenoid  $C_{13}$ - $C_{14}$ ) dalam produk biomarka batubara sub-bituminus Sumatera Selatan (Renawati, 2006). Diperkirakan, produk *light* alkana isoprenoid terdapat dalam jumlah yang sangat sedikit sehingga senyawa *light* alkana isoprenoid tidak terdeteksi dalam produk pencairan.

Prekursor utama senyawa alkana bercabang produk pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan diperkirakan berasal dari steran ( $5\alpha$ -kolestan), hopan, tetraterpen dan rangkaian trisiklik terpen yang memiliki rantai samping isoprenoid. Beberapa senyawa ini ditemukan sebagai biomarka batubara sub-bituminus Sumatera Selatan (Renawati, 2006), yaitu senyawa steran ( $13\alpha(H)$ - $17\beta(H)$ -diastereana,  $24R$ - $24$ -metil- $5\alpha(H)$ ,  $14\beta(H)$ ,  $17\beta(H)$ -kolestana,  $24$ -etil-diakolest- $13(17)$ -ena), senyawa hopana (Hop- $22(29)$ -ena, Hop- $21$ -ena,  $17\alpha(H)$ ,  $21\beta(H)$ - $30$ -norhopana) dan senyawa Neohop- $13(18)$ -ena merupakan senyawa yang dominan. Hal ini diperkuat oleh penelitian sebelumnya yang menemukan adanya senyawa alkana bercabang isoalkana dari hasil *thermocracking* senyawa steran ( $5\alpha$ -kolestan), hopan tetraterpen dan rangkaian trisiklik terpen yang memiliki rantai samping isoprenoid (Tissot dan Welte, 1984; Philp dan Oung, 1988; Simoneit, dkk., 1990; Kissin, 1990). Mekanisme *thermocracking* steran ( $5\alpha$ -kolestan) yang menghasilkan isoalkana ditunjukkan pada reaksi dibawah.

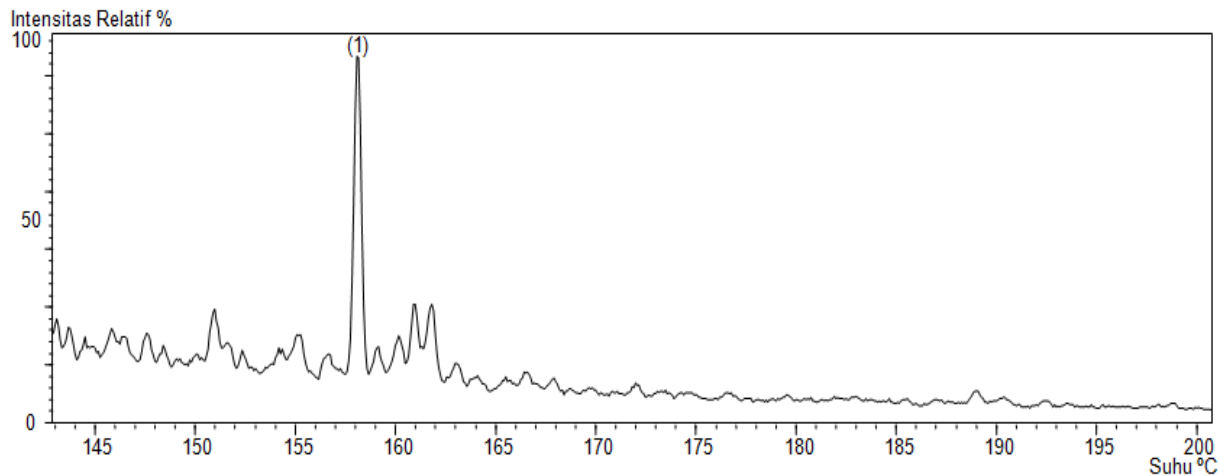


(Kissin, 1990).

Keberadaan relatif senyawa alkana bercabang juga dapat digunakan sebagai indikator nilai oktan bensin, seperti isooktana (Speight, 1991). Semakin tinggi kandungan isooktana maka semakin tinggi pula nilai oktan bensin tersebut (Dechamps, 2010). Senyawa isooktana teridentifikasi dalam produk pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan yaitu senyawa 2-metiloktana. Selain itu keberadaan senyawa iso- dan anteiso-alkana dalam produk pencairan batubara menjadikan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan berpotensi untuk dikonversi menjadi bahan bakar cair.

### Senyawa Seskuitерpen

Analisa senyawa seskuitерpen pada fraksi alifatik LO batubara sub-bituminus Sumatera Selatan diidentifikasi berdasarkan puncak dasar  $m/z$  109. Hasil identifikasi fraksi alifatik LO ditunjukkan pada gambar 4.12. Sebaran senyawa mono dan di-sikloalkana (seskuitерpen) terdapat dalam jumlah dominan dalam minyak bumi dibandingkan dengan sebaran trisikloalkana dan pentasikloalkana. Keberadaan senyawa mono- dan di-sikloalkana dalam minyak bumi terdapat dalam jumlah 50-55 %vol ( $>C_{10}$ ), 20 %vol senyawa trisikloalkana ( $>C_{10}$ ) dan 25% senyawa pentasikloalkana ( $>C_{10}$ ) (Tissot dan Welte, 1984).

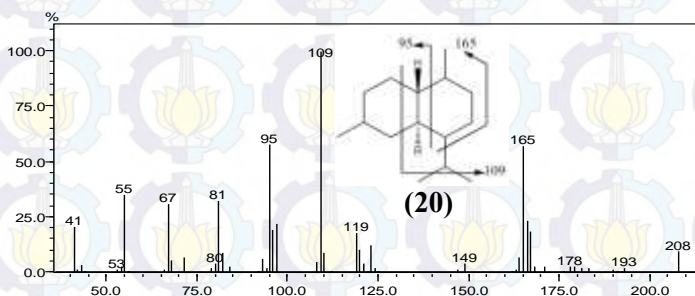


Gambar 4.12 Fragmentogram  $m/z$  109 fraksi hidrokarbon alifatik *light oil* (LO) pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.



Identifikasi kromatogram puncak (1) pada gambar 4.12 diperoleh spektrum massa ditunjukkan pada gambar 4.13.

Elusidasi spektrum massa gambar 4.13 menunjukkan adanya fragmen ion  $m/z$  95, 109 (puncak dasar), 165 dan 208 (ion molekul). Fragmen-fragmen ini khas untuk turunan bisiklik seskuiterpen dan diketahui merupakan senyawa transkadinan,  $C_{15}H_{28}$  (20). Senyawa turunan bisiklik seskuiterpen juga ditemukan dalam fraksi hidrokarbon alifatik ekstrak batubara sub-bituminus Sumatera Selatan (Renawati, 2006). Hal ini menunjukkan senyawa seskuiterpen memiliki kestabilan termal yang tinggi sehingga tetap bertahan selama proses pencairan batubara.



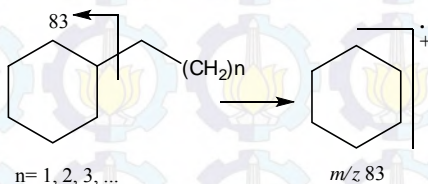
Gambar 4.13 Gambar spektrum massa transkadinan,  $C_{15}H_{28}$  (20)

Senyawa kadinan banyak ditemukan dalam minyak mentah dan sedimen Asia Tenggara pada percobaan pirolisa fosil dan resin segar (van Aarssen, dkk., 1990). Senyawa transkadinan yang merupakan turunan bisiklik alkana juga termasuk dalam kelompok naftena dalam bahan bakar minyak (Speight, 1991). Hal ini menunjukkan bahwa fraksi LO hasil pencairan batubara berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan bakar cair, karena senyawa tersebut merupakan konstituen minyak mentah dan merupakan golongan naftena dalam bahan bakar minyak.

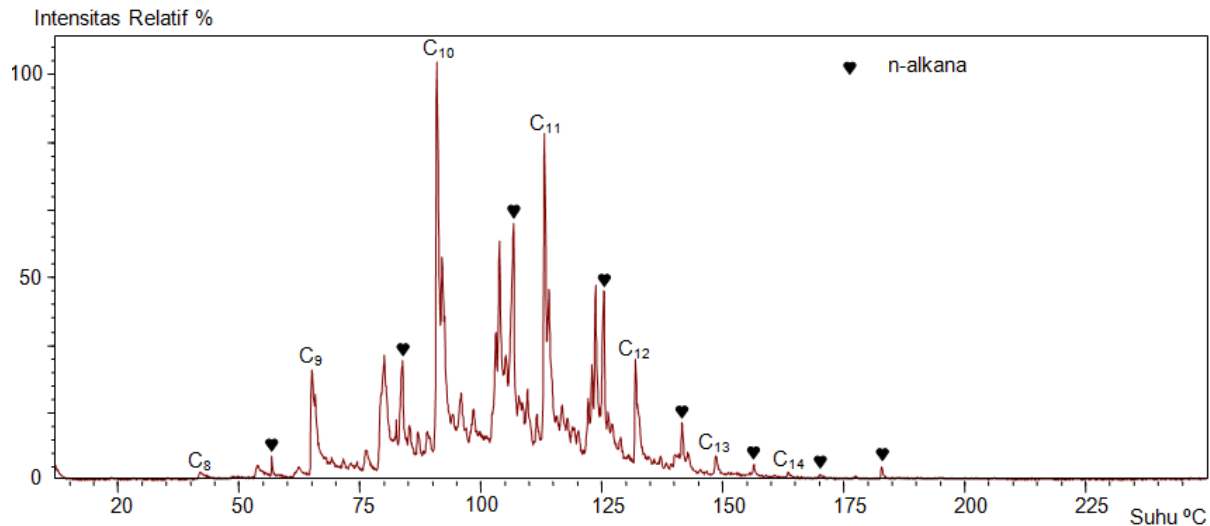
### Senyawa Alkilsikloheksana

Distribusi senyawa alkilsikloheksana pada masing-masing fraksi alifatik nafta dan alifatik LO produk pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan diidentifikasi berdasarkan fragmentogram  $m/z$  83. Kromatogram hasil identifikasi puncak  $m/z$  83 pada fraksi nafta ditunjukkan pada gambar 4.14 dan fraksi alifatik LO pada gambar 4.15.

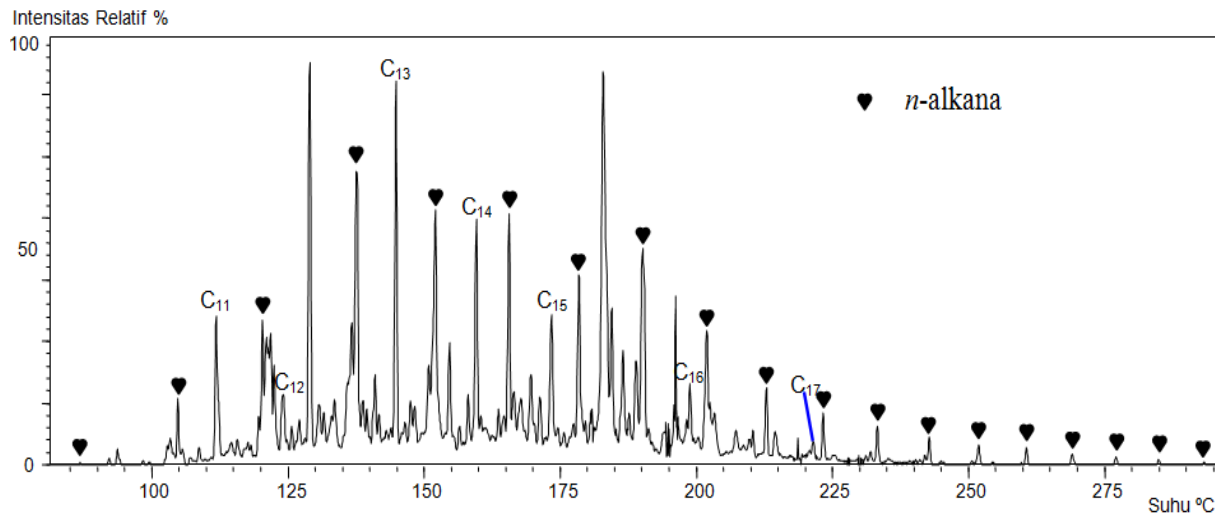
Identifikasi puncak-puncak kromatogram berdasarkan pada fragmentogram  $m/z$  83 sebagai puncak dasar (*base peak*) untuk senyawa alkilsikloheksana. Puncak  $m/z$  83 digunakan sebagai puncak dasar karena terlepasnya gugus  $(C_6H_{11}^+)$ . Spektrum massa beberapa puncak senyawa alkilsikloheksana ditunjukkan pada gambar 4.16, 4.17, 4.18 dan 4.19.



Siklopentana, sikloheksana dan turunannya dengan berat molekul kecil ( $<C_{10}$ ) adalah komponen penting dalam minyak bumi. Senyawa alkilsikloalkana dengan jumlah atom C kurang dari 10 dan turunan dari siklopentana dan sikloheksana juga sedikit bisiklik merupakan penyusun utama senyawa isoprenoid siklik ringan dalam minyak bumi. Senyawa sikloalkana merupakan golongan naftenik hidrokarbon jenuh (saturated hydrocarbons) yang menjadi komponen utama bahan bakar minyak (Tissot dan Welte, 1984).



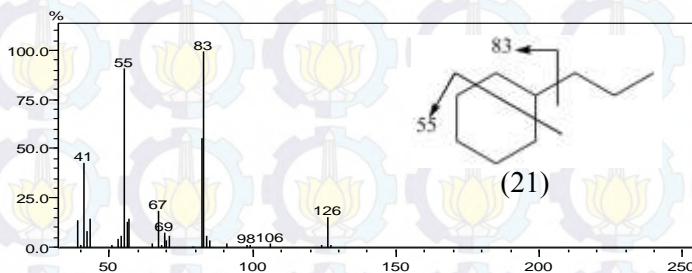
Gambar 4.14 Fragmentogram  $m/z$  83 fraksi hidrokarbon alifatik nafta pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.



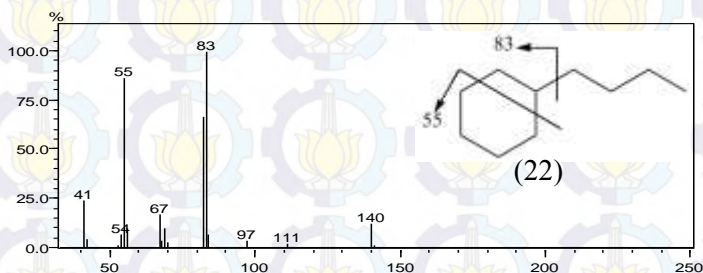
Gambar 4.15 Fragmentogram  $m/z$  83 fraksi hidrokarbon alifatik *light oil* (LO) batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.



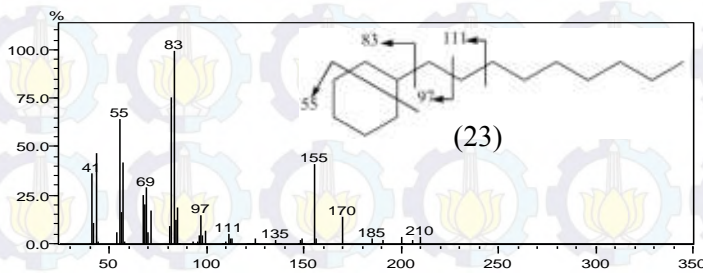
Spektrum massa pada gambar 4.16 menunjukkan fragmen ion diantaranya  $m/z$  55, 69, 83 (puncak dasar), 97 dan 126 (ion molekul). Fragmen ion  $m/z$  55, 69, 83 dan 97 adalah fragmen ion khas senyawa alkilsikloheksana. Dengan berat molekul 126 sehingga teridentifikasi merupakan senyawa propilsikloheksana,  $C_9H_{18}$  **(21)**.



Gambar 4.16 Spektrum massa propilsikloheksana,  $C_9H_{18}$  **(21)**

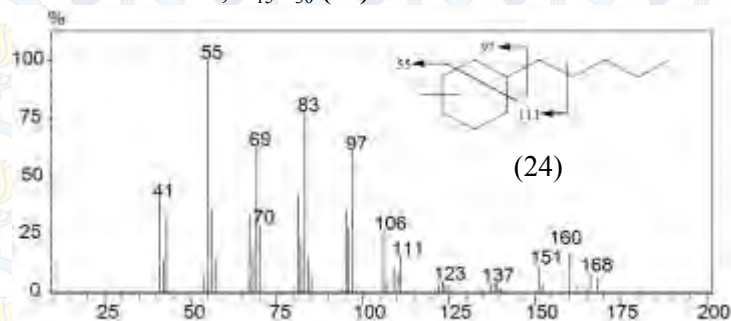


Gambar 4.17 Spektrum massa butilsikloheksana,  $C_{10}H_{20}$  **(22)**



Gambar 4.18 Spektrum massa nonilsikloheksana,  $C_{15}H_{30}$  **(23)**

Spektrum selanjutnya (gambar 4.17 dan 4.18) cenderung memiliki pola fragmentasi yang sama. Dengan menggunakan puncak dasar sama  $m/z$  83 dan berat molekul diketahui sebesar  $m/z$  140 dan  $m/z$  210, maka diketahui gambar 4.17 adalah spektrum massa senyawa butilsikloheksana,  $C_{10}H_{20}$  (**22**) dan gambar 4.18 adalah spektrum massa senyawa nonilsikloheksana,  $C_{15}H_{30}$  (**23**).

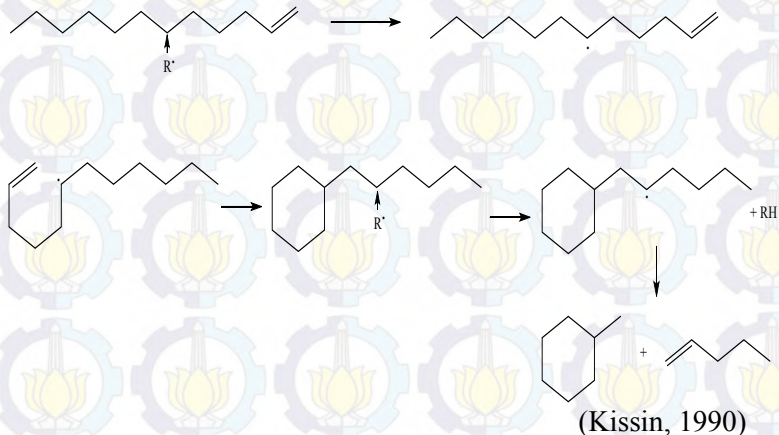


Gambar 4.19 Spektrum massa metilpentilsikloheksana,  $C_{12}H_{24}$ (**24**)

Elusidasi spektrum massa selanjutnya (gambar 4.19) sedikit berbeda dengan spektrum massa sebelumnya. Pada spektrum massa gambar 4.19 terdapat fragmen ion 55 (puncak dasar), 83, 97, 111, 125, 139, 153 dan 168 (ion molekul). Fragmen ion  $m/z$  55 adalah fragmen khas senyawa golongan metilalkilsikloheksana. Dengan berat molekul sebesar  $m/z$  168 dapat diketahui senyawa dengan spektrum massa tersebut adalah metilpentilsikloheksana,  $C_{12}H_{24}$  (**24**).

Identifikasi menyeluruh terhadap senyawa alkilsikloheksana dalam produk pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan menghasilkan sebaran senyawa, yaitu homolog alkilsikloheksana  $C_8$ - $C_{14}$  pada fraksi nafta dan dalam fraksi LO terdapat homolog alkilsikloheksana  $C_{11}$ - $C_{17}$  dan metilalkilsikloheksana  $C_{12}$ . Produk senyawa alkilsikloheksana pada hasil pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan diperkirakan berasal dari perengkahan senyawa  $n$ -alkana rantai

panjang yang disertai reaksi siklisasi radikal olefin selama proses pencairan (Kissin, 1990; Dong, dkk., 1993), yang ditunjukkan pada reaksi dibawah ini.



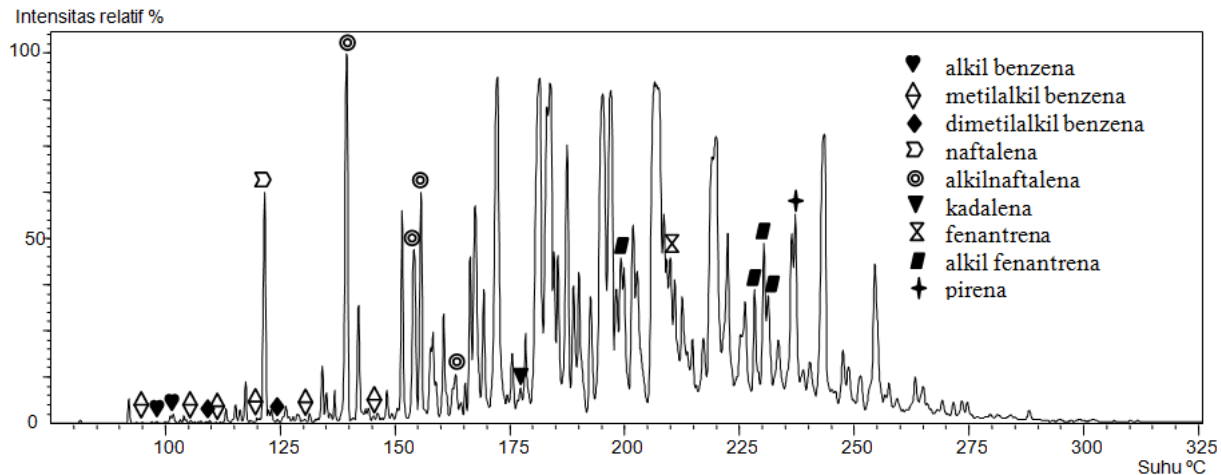
Diperkuat oleh adanya, penelitian Kissin (1990) yang melakukan percobaan termolisis senyawa *n*-alkana  $C_{24}H_{50}$  murni pada temperatur 350 °C selama 24 jam yang menghasilkan produk senyawa *light n*-alkil sikloalkana. Senyawa turunan alkilsikloalkana juga tidak ditemukan dalam biomarka batubara sub-bituminus Sumatera Selatan (Renawati, 2006), sehingga diperkirakan senyawa ini terbentuk selama proses perengkahan. Selain prekursor *n*-alkana rantai panjang, Kissin (1990) juga menemukan senyawa 5 $\alpha$ -kolestan adalah prekursor terbentuknya senyawa alkilsikloheksana dan triterpenoid adalah prekursor terbentuknya senyawa metilalkilsikloheksana melalui proses perengkahan. Hal ini sesuai dengan ditemukannya senyawa *n*-alkana rantai panjang  $C_{14}$ - $C_{24}$ , 24R-24-metil-5 $\alpha$ (H),14 $\beta$ (H), 17 $\beta$ (H)-kolestana dan senyawa triterpenoid dalam biomarka batubara sub-bituminus Sumatera Selatan (Renawati, 2006).

Sebaran alkilsikloheksana dalam produk pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan memiliki kemiripan dengan komponen utama fraksi hidrokarbon alifatik berbagai batuan sumber, minyak mentah, batubara dan produk pencairan (Kissin, 1990). Gao dkk., (2008) juga menemukan adanya senyawa alkisikloheksana dan metilalkilsikloheksana dalam produk pencairan batubara Shenhua Shangwan. Oleh karena itu, adanya senyawa alkilsikloheksana yang merupakan salah satu kelompok naftena dalam minyak bumi (Speight, 1980) menjadikan fraksi nafta dan LO produk pencairan batubara memiliki potensi lebih lanjut untuk digunakan sebagai bahan bakar cair. Sebaran senyawa alkilsikloheksana  $C_8$ - $C_{14}$  menjadikan fraksi nafta berpotensi sebagai penyusun bahan bakar bensin atau gasolin sedangkan keberadaan senyawa alkilsikloheksana  $C_{11}$ - $C_{17}$  dan metilalkilsikloheksana  $C_{12}$  menjadikan fraksi LO berpotensi sebagai penyusun bahan bakar kerosin atau bahan bakar jet (Pereira dan Pasa, 2006; Collins, 2007).

#### **4.4.2 Fraksi Hidrokarbon Aromatik**

Analisa kelimpahan senyawa hidrokarbon aromatik terhadap fraksi nafta dan LO ditunjukkan pada gambar 4.1 dan gambar 4.20. Pada masing-masing fraksi diketahui sebaran senyawa hidrokarbon aromatik yang berbeda. Fraksi nafta memiliki sebaran senyawa hidrokarbon aromatik berupa alkilbenzena, naftalena dan alkilnaftalena, sedangkan fraksi LO memiliki sebaran senyawa hidrokarbon aromatik berupa alkilbenzena, naftalena, alkilnaftalena, kadalena, fenantrena, alkilfenantrena dan pirena.

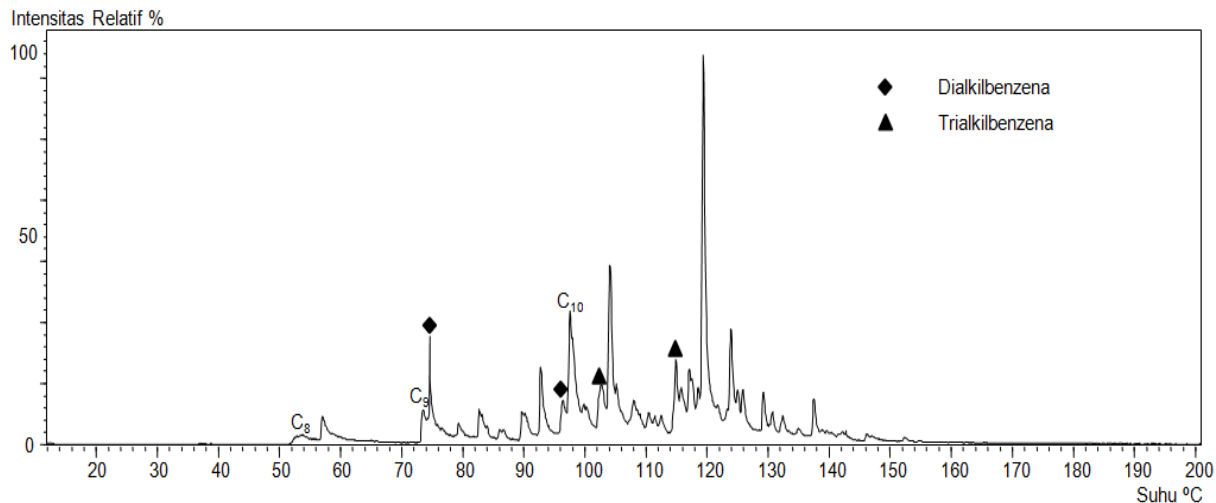




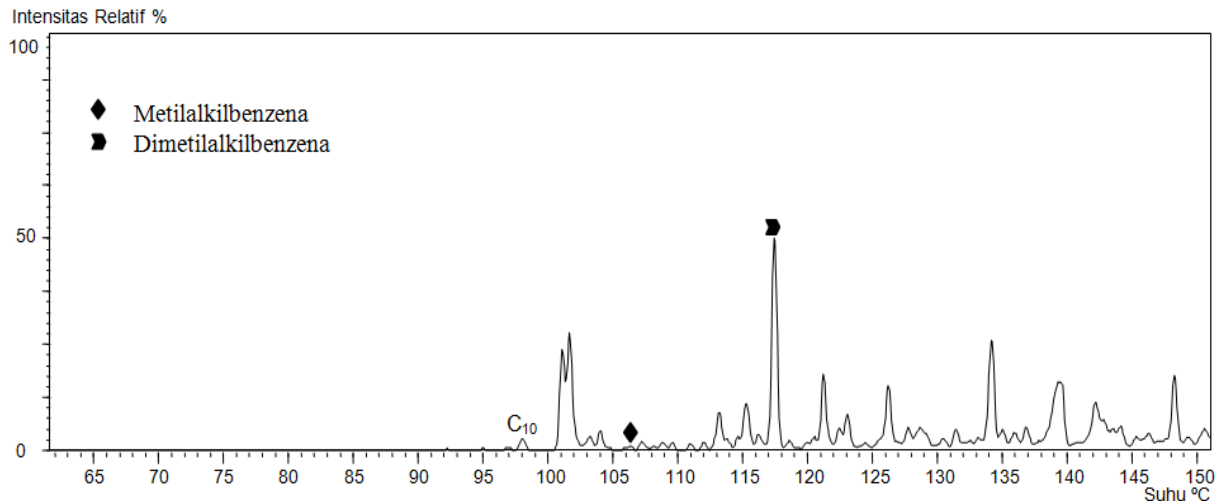
Gambar 4.20 Fragmentogram total fraksi hidrokarbon aromatik *light oil* (LO) produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.

### Senyawa Alkilbenzena

Senyawa alkilbenzena dalam fraksi nafta dan LO diidentifikasi berdasar fragmentogram  $m/z$  91. Puncak  $m/z$  91 merupakan karakteristik pada spektra massa senyawa alkilbenzena akibat terlepasnya gugus ( $C_7H_7^+$ ). Hasil identifikasi senyawa alkilbenzena fraksi nafta ditunjukkan pada gambar 4.21 dan fraksi LO gambar 4.22. Contoh beberapa spektrum massa hasil identifikasi puncak  $m/z$  91 pada fragmentogram gambar 4.21 dan gambar 4.22 dapat dilihat dalam gambar 4.23 dan gambar 4.24.

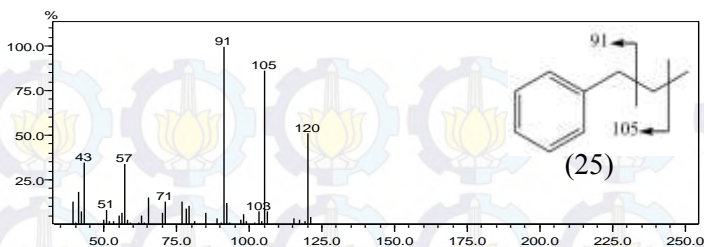


Gambar 4.21 Fragmentogram  $m/z$  91 fraksi hidrokarbon aromatik nafta produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.

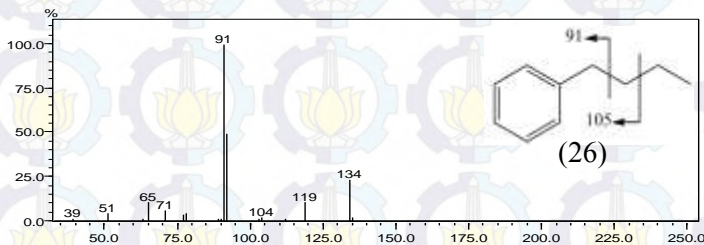


Gambar 4.22 Fragmentogram  $m/z$  91 fraksi hidrokarbon aromatik *light oil* (LO) produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C(10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.





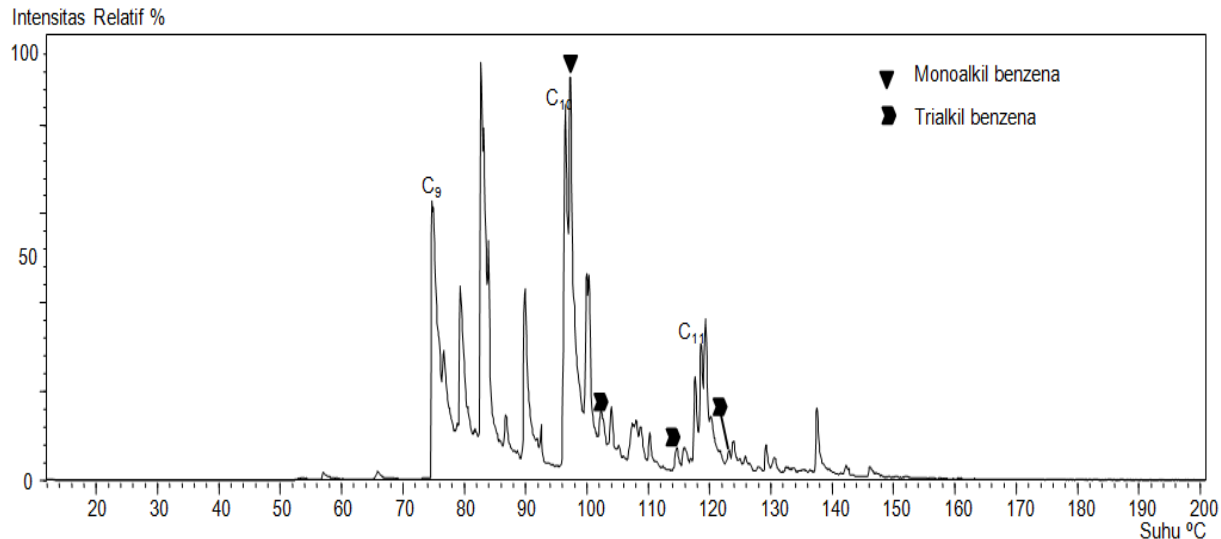
Gambar 4.23 Spektrum massa propilbenzena,  $C_9H_{12}$  (25)



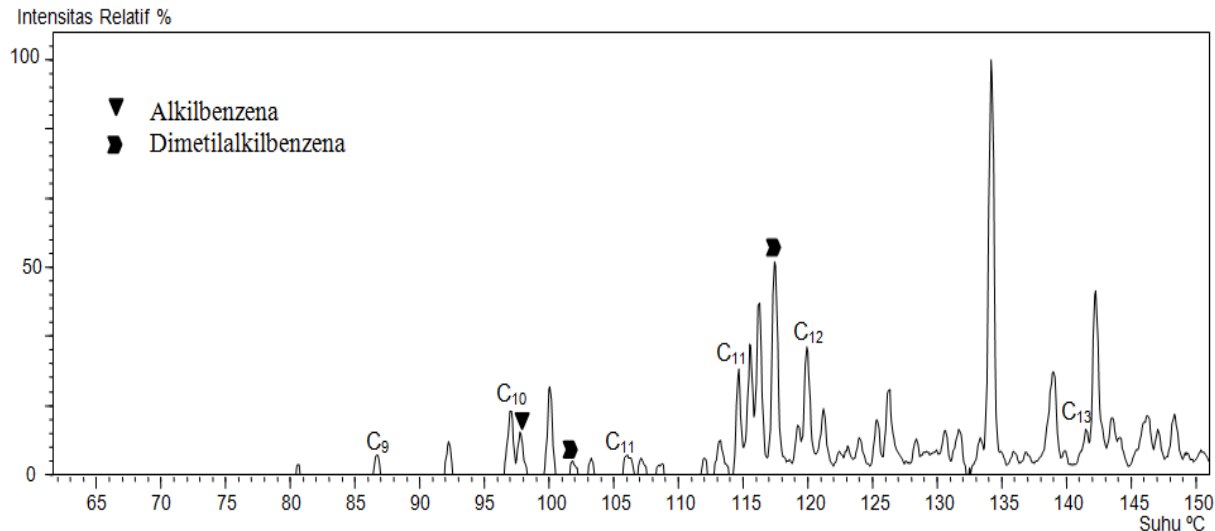
Gambar 4.24 Spektrum massa butilbenzena,  $C_{10}H_{14}$  (26)

Spektrum massa pada gambar 4.23 menunjukkan fragmen ion diantaranya  $m/z$  91 (puncak dasar), 105 dan 120 (ion molekul). Dengan mengetahui berat molekul sebesar 120 dan memiliki puncak dasar  $m/z$  91 maka diketahui merupakan senyawa propilbenzena,  $C_9H_{12}$  (25). Berdasarkan identifikasi yang sama diketahui spektrum massa gambar 4.24 mempunyai pola fragmentasi yang sama dengan spektrum massa gambar 4.23 tetapi memiliki berat molekul berbeda. Senyawa dengan spektrum massa tersebut adalah butilbenzena,  $C_{10}H_{14}$  (26).

Sebaran senyawa aromatik turunan benzena selanjutnya diidentifikasi berdasar fragmentogram  $m/z$  105. Puncak spektra  $m/z$  105 merupakan puncak khas senyawa turunan benzena, yaitu metilalkilbenzena. Puncak khas senyawa metilalkilbenzena muncul akibat terlepasnya gugus  $(C_8H_9^+)$ . Sebaran senyawa metilalkilbenzena fraksi nafta selengkapnya dapat dilihat pada gambar 4.25 dan fraksi LO pada gambar 4.26.

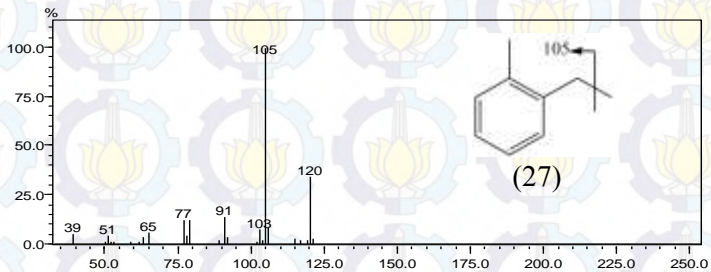


Gambar 4.25 Fragmentogram  $m/z$  105 fraksi hidrokarbon aromatik nafta produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.

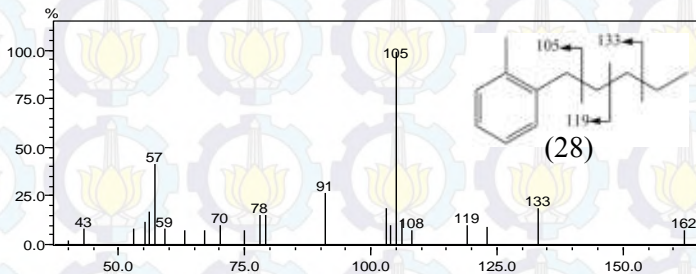


Gambar 4.26 Fragmentogram  $m/z$  105 fraksi hidrokarbon aromatik *light oil* (LO) produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.

Identifikasi puncak  $m/z$  105 pada fragmentogram gambar 4.25 dan gambar 4.26 dapat dilihat dalam contoh beberapa spektrum massa gambar 4.27 dan gambar 4.28.



Gambar 4.27 Spektrum massa 1-etil-2-metilbenzena,  $C_9H_{12}$ (27)

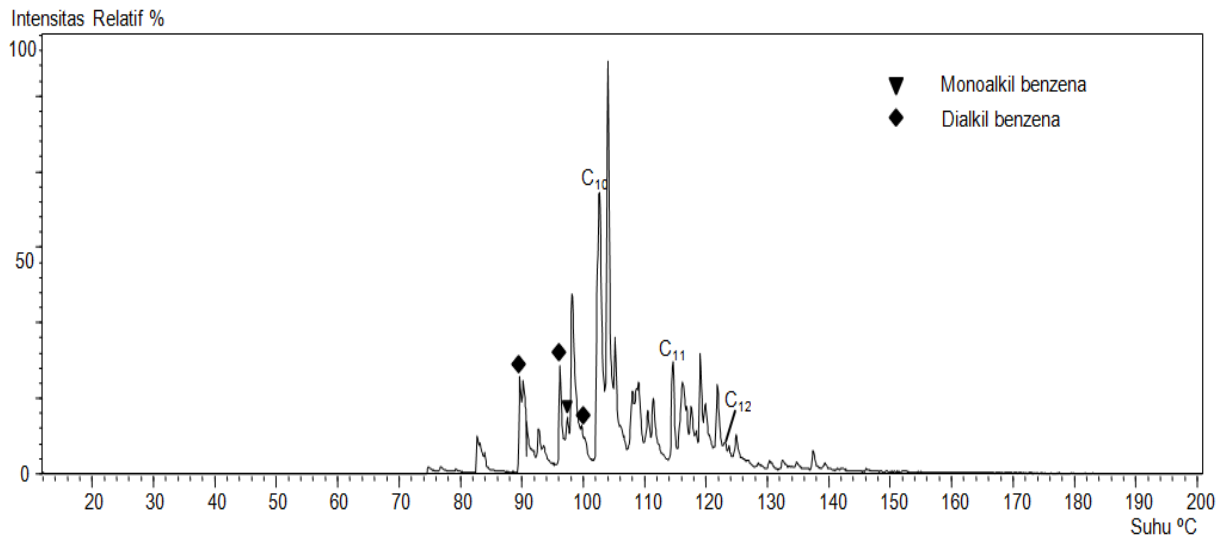


Gambar 4.28 Spektrum massa 1-metil-2-pentilbenzena,  $C_{12}H_{18}$ (28)

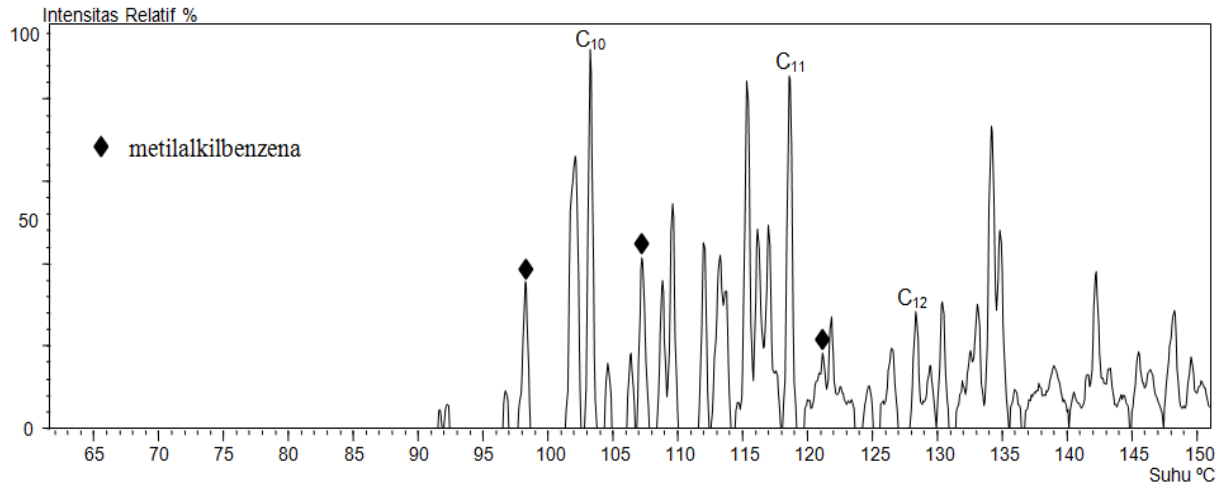
Spektrum massa pada gambar 4.27 menunjukkan fragmen ion diantaranya  $m/z$  77, 91, 105 (puncak dasar) dan 120 (ion molekul). Dengan mengetahui puncak dasar adalah  $m/z$  105 yang merupakan puncak khas metilalkilbenzena dan berat molekul sebesar 120 maka diketahui spektrum massa gambar 4.27 merupakan senyawa 1-etil-2-metilbenzena,  $C_9H_{12}$ (27). Berdasarkan pola identifikasi yang sama diketahui spektrum massa gambar 4.28 mempunyai pola fragmentasi yang sama dengan spektrum massa sebelumnya tetapi memiliki berat

molekul yang berbeda. Senyawa dengan spektrum massa tersebut adalah 1-metil-2-pentilbenzena,  $C_{12}H_{18}$  (**28**).

Sebaran senyawa aromatik turunan benzena selanjutnya diidentifikasi berdasarkan fragmentogram  $m/z$  119. Puncak spektra  $m/z$  119 merupakan puncak khas senyawa turunan benzena, yaitu dimetilalkilbenzena. Puncak khas senyawa dimetilalkilbenzena muncul akibat terlepasnya gugus  $(C_9H_{11}^+)$ . Sebaran senyawa dimetilalkilbenzena selengkapnya dapat dilihat pada gambar 4.29 untuk fraksi nafta dan gambar 4.30 untuk fraksi LO.



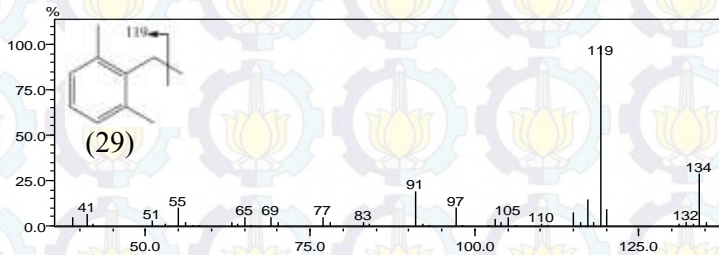
Gambar 4.29 Fragmentogram  $m/z$  119 fraksi hidrokarbon aromatik nafta produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.



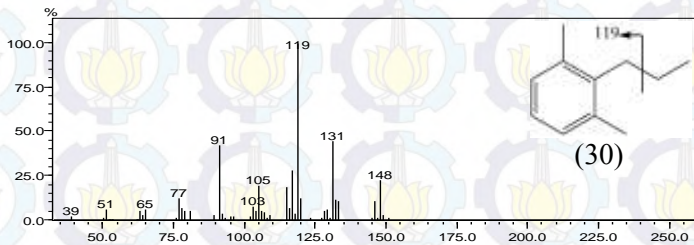
Gambar 4.30 Fragmentogram  $m/z$  119 fraksi hidrokarbon aromatik *light oil* (LO) produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.



Identifikasi puncak-puncak  $m/z$  119 pada fragmentogram gambar 4.29 dan 4.30 dapat dilihat dalam spektrum massa gambar 4.31 dan gambar 4.32.



Gambar 4.31 Spektrum massa 2-etil-1,3-dimetilbenzena,  $C_{10}H_{14}$ (**29**)

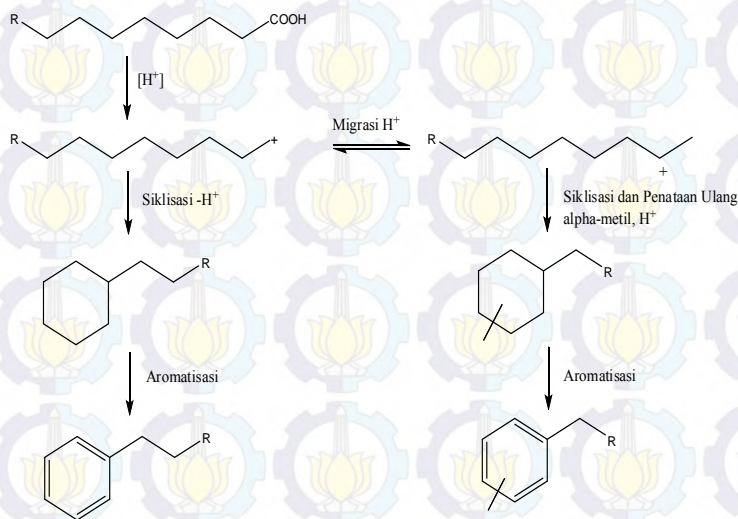


Gambar 4.32 Spektrum massa 1,3-dimetil-2-propilbenzena,  $C_{11}H_{16}$ (**30**)

Spektrum massa pada gambar 4.31 menunjukkan fragmen ion diantaranya  $m/z$  77, 99, 105, 119 (puncak dasar) dan 134 (ion molekul). Puncak  $m/z$  119 adalah karakteristik senyawa dimetilalkilbenzena. Dengan berat molekul 134 sehingga teridentifikasi merupakan senyawa 2-etil-1,3-dimetilbenzena,  $C_{10}H_{14}$ (**29**). Elusidasi pada spektrum selanjutnya, yaitu spektrum massa gambar 4.32, dengan menggunakan pola fragmentasi yang sama diketahui berat molekul senyawa adalah sebesar 148 sehingga teridentifikasi merupakan senyawa 1,3-dimetil-2-propilbenzena,  $C_{11}H_{16}$ (**30**).



Identifikasi menyeluruh terhadap senyawa aromatik alkilbenzena hasil produk pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan menghasilkan sebaran senyawa, pada fraksi nafta yaitu monoalkilbenzena  $C_8-C_{10}$ , dialkilbenzena  $C_9-C_{11}$  dan trialkilbenzena  $C_{10}-C_{12}$ , sedangkan pada fraksi LO yaitu monoalkilbenzena  $C_{10}$ , dialkilbenzena  $C_9-C_{13}$  dan trialkilbenzena  $C_{10}-C_{12}$ . Senyawa alkilbenzena tidak ditemukan dalam biomarka batubara Sumatera Selatan (Renawati, 2006). Hal ini mengindikasikan bahwa sebaran senyawa alkilbenzena dalam produk hasil pencairan batubara berasal dari proses hidropirolisis batubara selama proses pencairan batubara. Seperti ditemukannya senyawa turunan benzena berupa alkilbenzena  $C_{14}-C_{39}$  sebagai produk hidropirolisis batubara dalam pencairan batubara (Baset, 1980; Gallegos, 1981; Dong, dkk, 1993). Mekanisme reaksinya ditunjukkan pada reaksi dibawah ini.

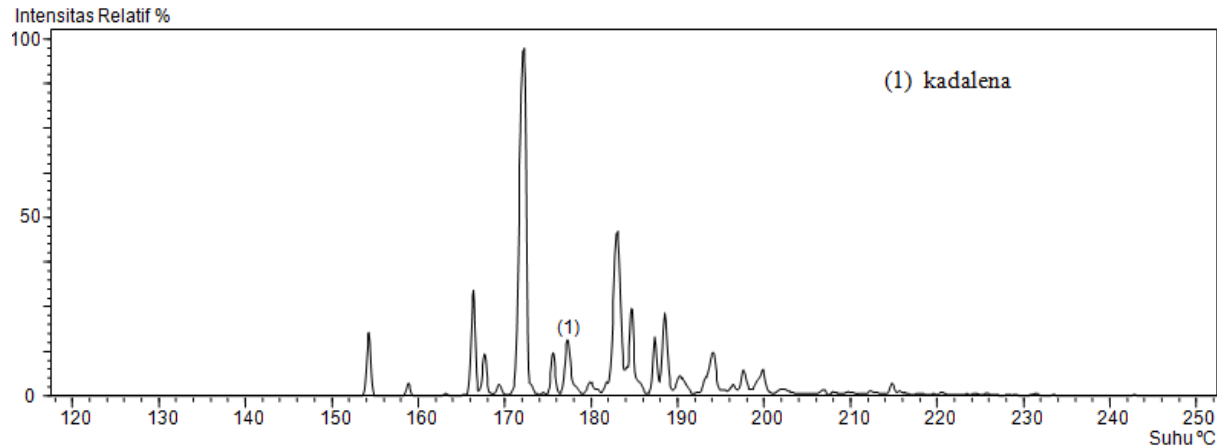


Karotenoid alami seperti likopen dan karoten (Koopmans, dkk., 1997) serta asam lemak dan alkohol (Ostroukhovs, dkk., 1983; Dong dan Ouchi, 1989a; 1989b; Komari, dkk., 1990) merupakan prekursor dari senyawa turunan benzena alkilbenzena. Penelitian lebih lanjut oleh Dong, dkk. (1993) menemukan senyawa turunan benzena seperti *n*-alkil-*o*-toluena, *n*-alkil-*p*-toluena dan *n*-alkil-*m*-xilena merupakan hasil dari proses aromatisasi senyawa alkilsikloheksana yang berasal dari asam lemak atau alkohol. Tahapan reaksi aromatisasi asam lemak menjadi alkilsikloheksana dan alkilbenzena ditunjukkan pada reaksi diatas.

Kandungan senyawa hidrokarbon bahan bakar dikelompokkan kedalam empat senyawa hidrokarbon parafin, olefin, naftena dan aromatik (PONA). Keberadaan senyawa aromatik hidrokarbon dalam bahan bakar cair terdapat dalam beberapa turunan, yaitu mono-, di- dan tri-sikloaromatik (Dooley, dkk., 2010). Turunan mono-aromatik ( $C < 12$ ) merupakan salah satu senyawa yang dapat meningkatkan nilai oktan bensin (Speight, 1991). Adanya penemuan tersebut menjadikan sebaran senyawa turunan benzena  $C_8$ - $C_{12}$  dalam fraksi nafta dan  $C_9$ - $C_{13}$  dalam fraksi aromatik LO produk pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan berpotensi sebagai bahan bakar cair penyusun bensin.

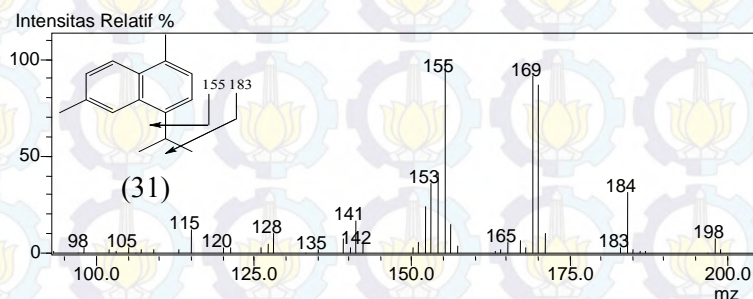
### **Senyawa Turunan Kadalena**

Senyawa turunan kadalena diidentifikasi berdasarkan spektra massa  $m/z$  169 terhadap fragmentogram. Sebaran senyawa turunan kadalena hanya ditemukan dalam fraksi LO batubara sub-bituminus Sumsel. Hasilnya ditunjukkan pada gambar 4.33.



Gambar 4.33 Fragmentogram  $m/z$  169 fraksi hidrokarbon aromatik *light oil* (LO) produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.

Identifikasi keberadaan senyawa kadalena dilakukan pada spektrum massa gambar 4.34. Dalam spektrum massa gambar 4.34 terdapat puncak-puncak utama, yaitu  $m/z$  115, 169 (puncak dasar), 183 dan 198 (ion molekul). Puncak spektra  $m/z$  169 adalah puncak karakteristik untuk senyawa turunan kadalena dan puncak spektra  $m/z$  198 menggambarkan berat molekul dari senyawa ini, sehingga diketahui merupakan senyawa kadalena,  $C_{15}H_{18}$ (**31**).



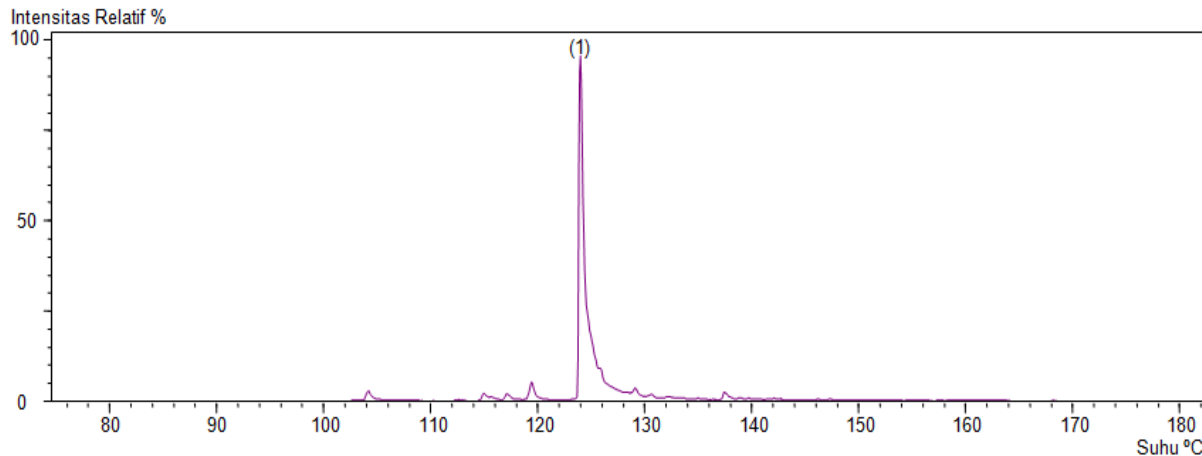
Gambar 4.34 Spektrum massa kadalena,  $C_{15}H_{18}$ (**31**)

Senyawa kadalena juga terdapat dalam biomarka batubara sub-bituminus Sumatera Selatan, yaitu senyawa norkadalena dalam kerangka dasar kadinan (Renawati, 2006). Keberadaan senyawa kadalena dalam biomarka dan produk pencairan menunjukkan bahwa senyawa kadalena memiliki kestabilan termal yang tinggi. Penelitian sebelumnya, oleh Ekinci, dkk. (2002) juga menemukan hal yang sama pada batubara sub-bituminus Turki pada temperatur 800 °C selama 2 jam. Kadalena merupakan salah satu golongan naftalena dalam bahan bakar cair penyusun solar.

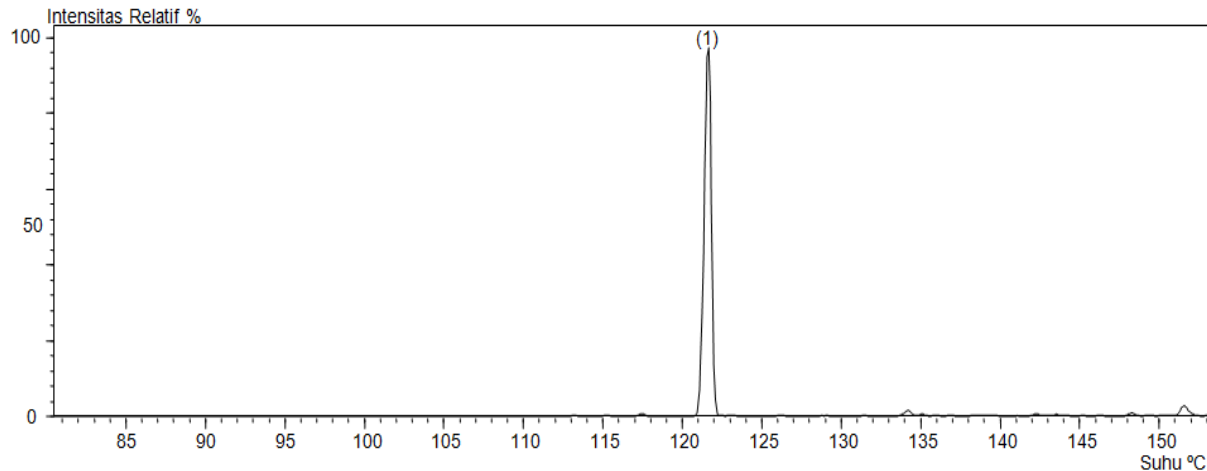


### Senyawa Naftalena

Identifikasi senyawa naftalena dalam fraksi aromatik nafta dan LO batubara sub-bituminus dilakukan menggunakan spektra massa  $m/z$  128. Puncak spektra  $m/z$  128 merupakan puncak khas senyawa naftalena akibat terlepasnya gugus ( $C_{10}H_8^+$ ). Sebaran senyawa naftalena dalam fraksi nafta dan LO masing-masing ditunjukkan dalam gambar 4.35 dan gambar 4.36.

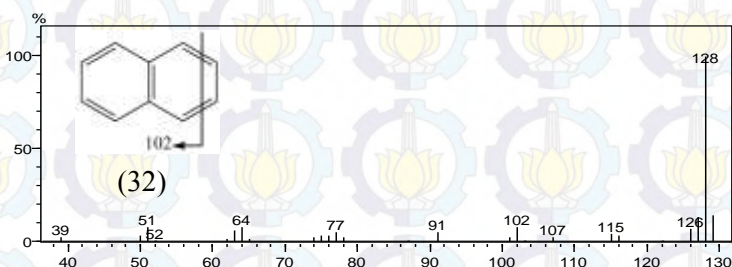


Gambar 4.35 Fragmentogram  $m/z$  128 fraksi hidrokarbon aromatik nafta produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.



Gambar 4.36 Fragmentogram  $m/z$  128 fraksi hidrokarbon aromatik *light oil* (LO) produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.

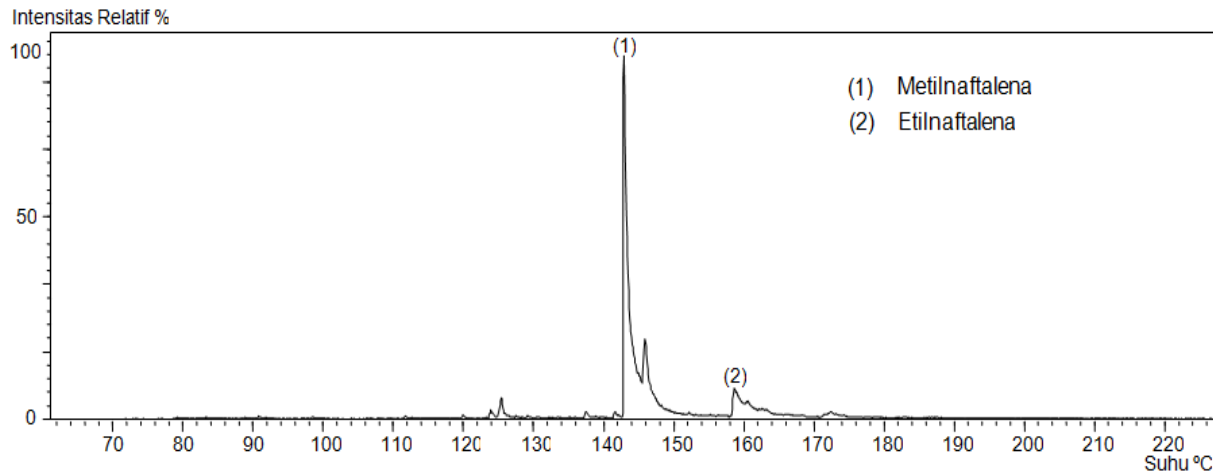
Analisa terhadap puncak spektra  $m/z$  128 fragmentogram menghasilkan spektrum massa gambar 4.37. Dalam spektrum massa terdapat beberapa puncak utama, yaitu  $m/z$  77, 91, 102, 115 dan 128 (puncak dasar dan ion molekul). Dengan mengetahui puncak dasar dan berat molekul maka diketahui spektrum massa merupakan senyawa naftalena,  $C_{10}H_8$ (32).



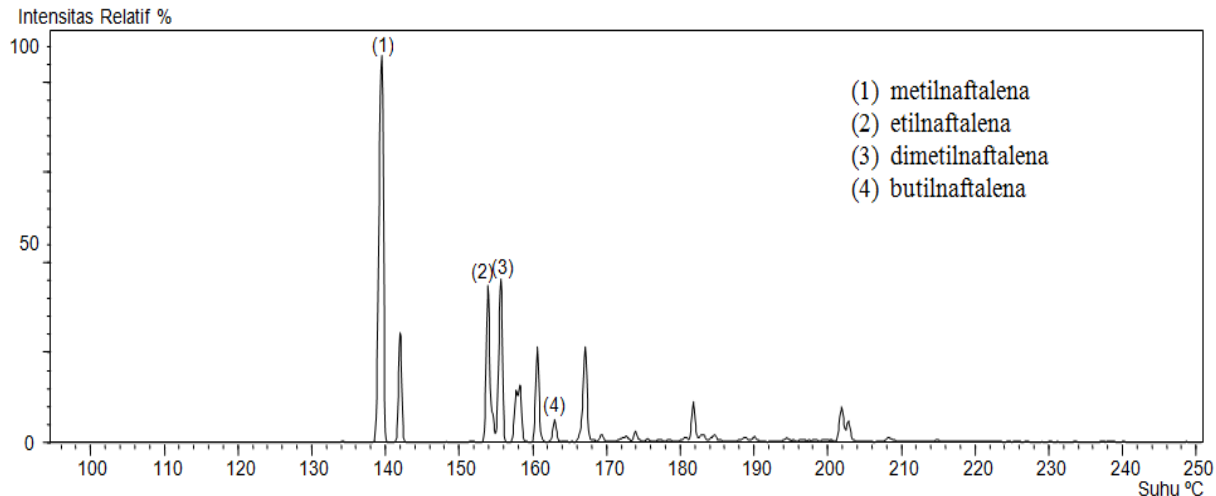
Gambar 4.37 Spektrum massa naftalena,  $C_{10}H_8$ (32)

Identifikasi senyawa aromatik alkilnaftalena pada fraksi nafta dan LO dilakukan berdasarkan puncak spektra  $m/z$  141 pada fragmentogram. Sebaran senyawa alkilnaftalena yang teridentifikasi pada fragmentogram nafta dan LO ditunjukkan pada gambar 4.38 dan gambar 4.39.





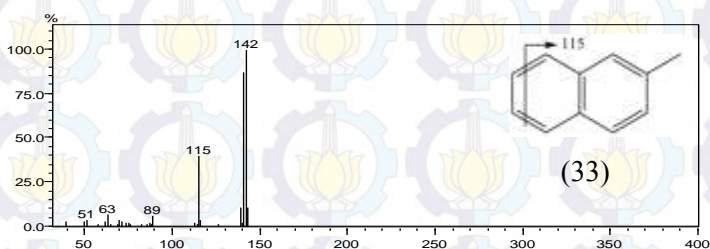
Gambar 4.38 Fragmentogram  $m/z$  141 fraksi hidrokarbon aromatik nafta produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.



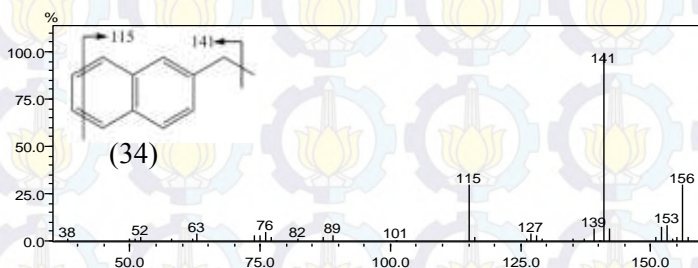
Gambar 4.39 Fragmentogram  $m/z$  141 fraksi hidrokarbon aromatik *light oil* (LO) produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.

Analisa senyawa alkilnaftalena berdasarkan pada puncak khas  $m/z$  141 ditunjukkan pada gambar 4.40, 4.41 dan 4.42. Masing-masing spektrum massa dianalisa dengan melihat puncak-puncak spektranya. Pada gambar 4.40 spektrum massa memiliki puncak utama  $m/z$  115, 141 (puncak dasar) dan 142 (ion molekul). Puncak  $m/z$  141 merupakan puncak karakteristik senyawa alkilnaftalena dan puncak  $m/z$  142 adalah berat molekul senyawa. Dengan analisa tersebut maka diketahui spektrum massa gambar 4.40 merupakan senyawa metilnaftalena,  $C_{11}H_{10}$ (**33**).

Identifikasi selanjutnya pada spektrum massa gambar 4.41 dan 4.42 menggunakan analisa yang sama. Pada spektrum massa gambar 4.41 dengan mengetahui puncak dasar  $m/z$  141 dan berat molekul sebesar 156 maka diketahui merupakan senyawa etilnaftalena,  $C_{12}H_{12}$ (**34**).

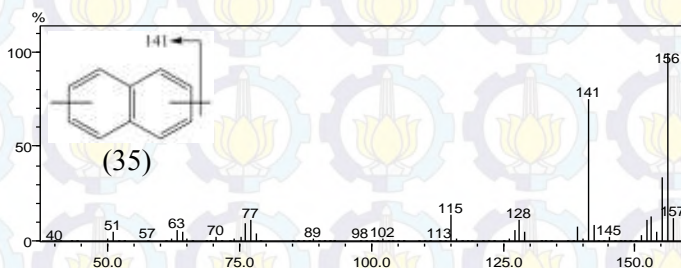


Gambar 4.40 Spektrum massa metilnaftalena,  $C_{11}H_{10}$ (**33**)



Gambar 4.41 Spektrum massa etilnaftalena,  $C_{12}H_{12}$ (**34**)

Identifikasi selanjutnya pada spektrum massa gambar 4.42 diketahui memiliki beberapa puncak utama, yaitu  $m/z$  115, 127, 141 (puncak dasar) dan 156 (ion molekul). Terdapat perbedaan pada puncak yang muncul untuk spektrum massa ini, yaitu puncak  $m/z$  156 memiliki intensitas lebih tinggi daripada puncak dasar sehingga dapat diketahui merupakan senyawa dimetilnaftalena,  $C_{12}H_{12}$ (**35**).



Gambar 4.42 Spektrum massa dimetilnaftalena,  $C_{12}H_{12}$ (**35**)

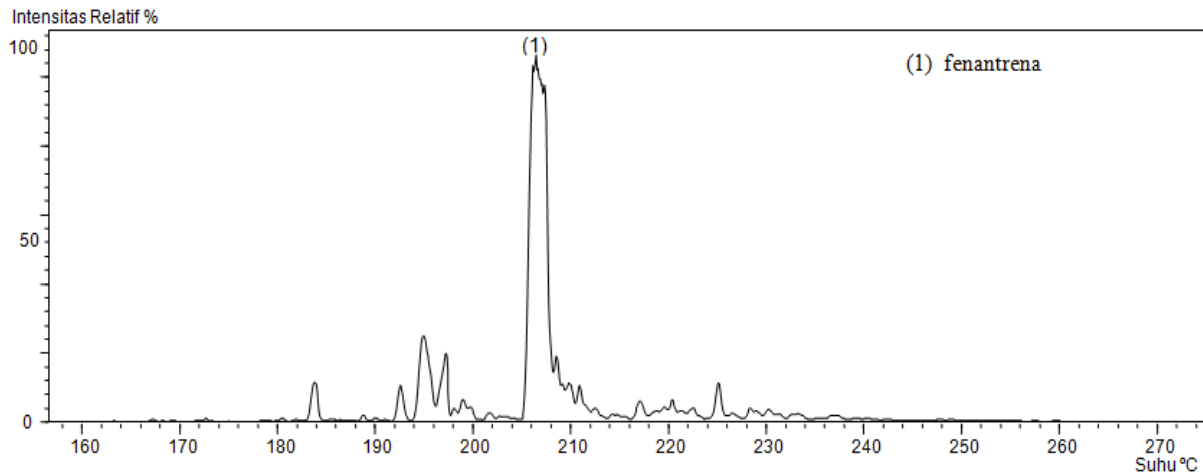
Identifikasi menyeluruh terhadap kromatogram fraksi nafta dan aromatik LO menghasilkan sebaran senyawa naftalena dan alkilnaftalena, yaitu pada fraksi nafta terdapat senyawa naftalena, metilnaftalena dan etilnaftalena sedangkan pada fraksi aromatik LO terdapat senyawa naftalena, metilnaftalena, etilnaftalena, dimetilnaftalena dan butilnaftalena. Senyawa naftalena maupun alkilnaftalena tidak ditemukan dalam biomarka batubara sub-bituminus Sumsel (Renawati, 2006). Hal ini mengindikasikan keberadaan senyawa naftalena dan alkilnaftalena dalam produk pencairan merupakan hasil dari degradasi termal. Senyawa triterpenoid jenis oleanan diketahui sebagai prekursor dari naftalena dan alkilnaftalena (Radke, dkk., 1990; Borrego, dkk., 1996; Burhan, 2001; Armstroff, dkk., 2006). Penelitian oleh Najamuddin (2011) juga menemukan sebaran naftalena dan turunannya yang diketahui berasal dari degradasi termal prekursor triterpenoid jenis oleanan. Biomarka triterpenoid jenis oleanan juga ditemukan

oleh Renawati (2006) dalam batubara sub-bituminus Sumsel, yaitu senyawa olena-13(18)-ena.

Keberadaan senyawa naftalena dan turunannya didalam fraksi aromatik LO terdapat dalam kelimpahan yang relatif tinggi. Senyawa alkilnaftalena terutama metilnaftalena diketahui merupakan komponen utama penyusun bahan bakar solar (Tancell, dkk., 1996). Dechamps (2010) juga mengungkapkan bahwa senyawa metilnaftalena dapat digunakan untuk menaikkan angka *cetan* (*cetan number*) dalam bahan bakar solar. Kelimpahan senyawa metilnaftalena terdapat dalam kelimpahan yang tinggi dalam produk pencairan batubara sub-bituminus Sumsel (gambar 4.20).

### **Senyawa Fenantrena**

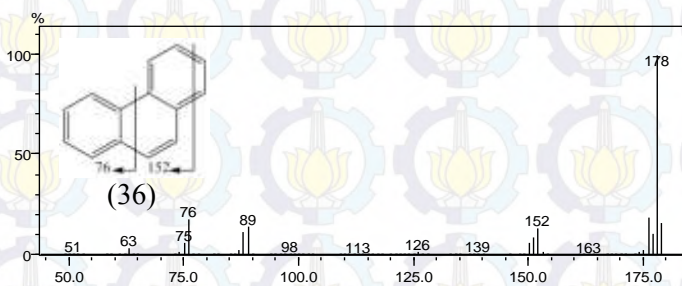
Senyawa fenantrena dalam fraksi LO diidentifikasi berdasar fragmentogram m/z 178. Hasil identifikasi senyawa fenantrena ditunjukkan pada gambar 4.43.



Gambar 4.43 Fragmentogram  $m/z$  178 fraksi hidrokarbon aromatik *light oil* (LO) produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.

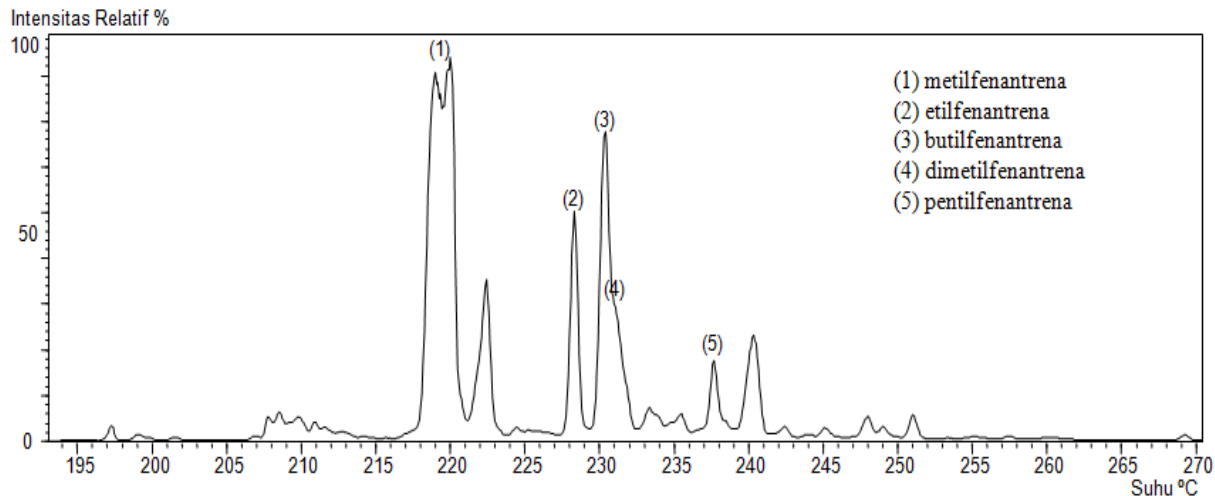


Identifikasi puncak  $m/z$  178 pada fragmentogram gambar 4.43 dapat dilihat dalam spektrum massa gambar 4.44. Dalam spektrum massa terlihat puncak  $m/z$  178 merupakan puncak dasar. Selengkapnya spektra massa memiliki puncak utama  $m/z$  76, 152 dan 178 (puncak dasar dan ion molekul). Sehingga diketahui merupakan senyawa fenantrena,  $C_{14}H_{10}$  (36).



Gambar 4.44 Spektrum massa fenantrena,  $C_{14}H_{10}$  (36)

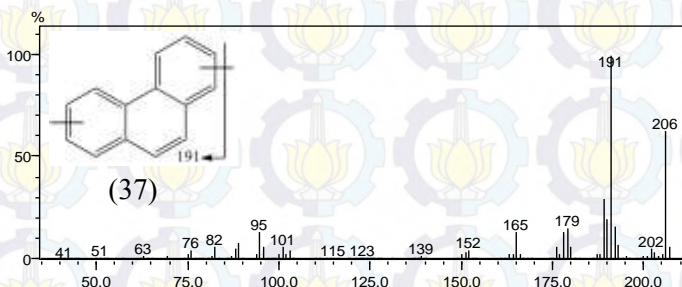
Identifikasi senyawa turunan fenantrena selanjutnya berdasar fragmentogram  $m/z$  191. Puncak  $m/z$  191 merupakan puncak khas senyawa alkilfenantrena. Hasil identifikasi senyawa turunan fenantrena dalam fraksi LO ditunjukkan pada gambar 4.45.



Gambar 4.45 Fragmentogram  $m/z$  191 fraksi hidrokarbon aromatik *light oil* (LO) produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.

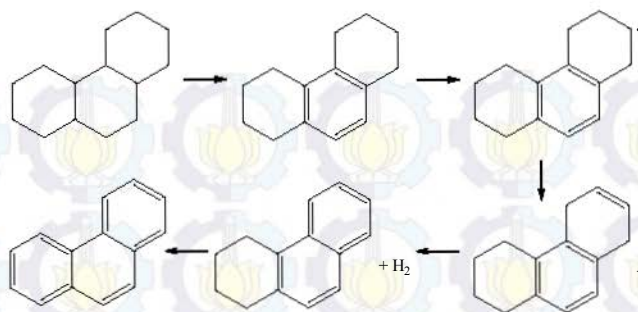


Identifikasi puncak  $m/z$  191 pada fragmentogram gambar 4.45 dapat dilihat dalam spektrum massa gambar 4.46. Dalam spektrum massa gambar 4.46 terlihat puncak  $m/z$  191 merupakan puncak dasar spektrum massa. Puncak utama selengkapnya terdiri dari  $m/z$  95, 165, 179, 191 (puncak dasar) dan 206 (ion molekul). Sehingga diketahui merupakan senyawa etilfenantrena,  $C_{14}H_{10}$ (37).



Gambar 4.46 Spektrum massa etilfenantrena,  $C_{14}H_{10}$ (37)

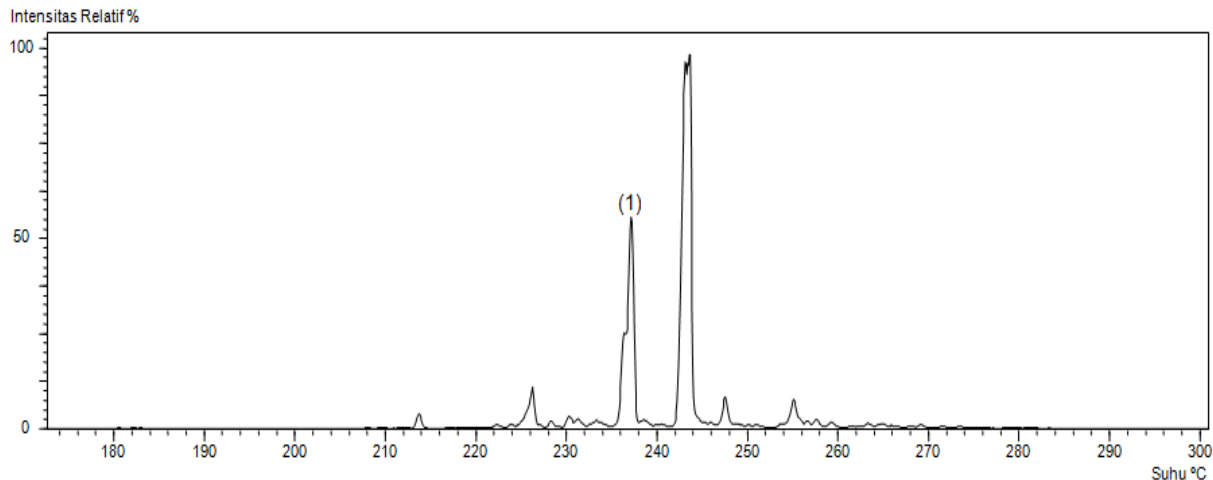
Identifikasi menyeluruh untuk fragmentogram  $m/z$  178 dan  $m/z$  191 pada fraksi aromatik LO mendapatkan sebaran senyawa fenantrena dan metil-, etil-, butil-, dimetil- dan pentil-fenantrena dalam produk pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan. Senyawa fenantrena dan alkilfenantrena tidak terdapat dalam biomarka batubara sub-bituminus Sumatera Selatan (Renawati, 2006). Senyawa fenantrena dan turunannya terdapat dalam molekul-molekul yang terikat oleh ikatan eter dan metilen dalam makromolekul batubara (gambar 2.1). Hal ini mengindikasikan keberadaan senyawa fenantrena dan alkilfenantrena terbentuk selama proses pirolisa batubara selama pencairan batubara. Korosi dkk. (1976) dalam penelitiannya menemukan adanya reaksi radikal bebas yang memungkinkan menghasilkan senyawa fenantrena. Reaksi radikal bebas pembentukan senyawa fenantrena ditunjukkan pada reaksi dibawah ini.



(Korosi, dkk., 1976)

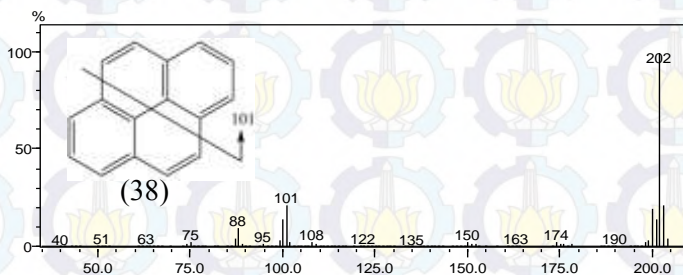
### Senyawa Pirena

Senyawa pirena dalam fraksi LO diidentifikasi berdasar fragmentogram  $m/z$  202. Hasil identifikasi senyawa pirena ditunjukkan pada fragmentogram gambar 4.47.



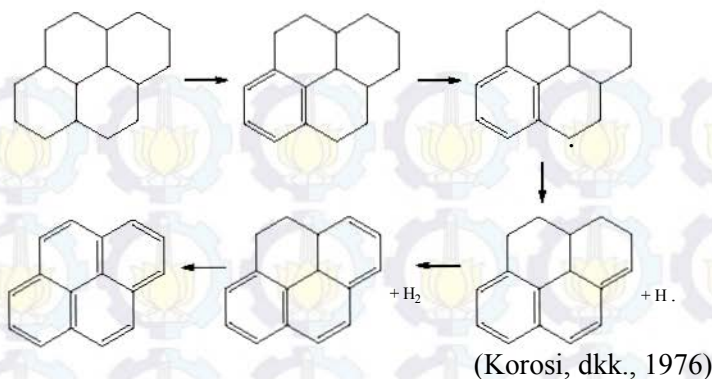
Gambar 4.47 Fragmentogram  $m/z$  202 fraksi hidrokarbon aromatik *light oil* (LO) produk pencairan batubara Sub-bituminus Sumatera Selatan. Program temperatur kolom adalah 60-100°C (10°C/menit), 100-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.

Identifikasi puncak  $m/z$  202 pada fragmentogram gambar 4.47 menghasilkan spektrum massa gambar 4.48. Dalam spektrum massa terlihat puncak utama  $m/z$  101 dan 202 (puncak dasar dan ion molekul). Berdasar puncak yang ada maka diketahui merupakan senyawa pirena,  $C_{16}H_{10}$  (38).



Gambar 4.48 Spektrum massa pirena,  $C_{16}H_{10}$ (38)

Identifikasi menyeluruh terhadap fragmentogram  $m/z$  202 pada fraksi aromatik LO produk pencairan batubara mendapatkan senyawa pirena. Senyawa pirena tidak ditemukan sebagai biomarka batubara sub-bituminus Sumatera Selatan (Renawati, 2006). Hal ini mengindikasikan senyawa pirena terbentuk selama proses pencairan batubara. Seperti halnya senyawa fenantrena, pemberian suhu dan tekanan yang relatif tinggi memungkinkan senyawa pirena terbentuk oleh akibat pemutusan ikatan-ikatan pada makromolekul batubara. Korosi dkk. (1976) dalam penelitiannya menyebutkan terdapat reaksi radikal bebas pada pembentukan pirena, ditunjukkan pada reaksi dibawah ini.



#### 4.5 Korelasi Karakter Biomarka dengan Produk pencairan Batubara

Pada penelitian biomarka batubara sub-bituminus Sumatera Selatan diketahui karakter dari batubara sub-bituminus Sumatera Selatan. Karakter biomarka batubara sub-bituminus Sumatera Selatan dikelompokkan menjadi dua, yaitu biomarka alifatik, aromatik dan poliaromatik. Kelompok biomarka alifatik memiliki sebaran berupa senyawa *n*-alkana ( $C_{14}$ - $C_{24}$ ), isoprenoid ( $C_{13}$ - $C_{14}$ ), seskuiterpeneoid (norkadalena), diterpenoid (dehidroabietan, simonelit dan retena), triterpenoid (hopana  $C_{28}$ - $C_{29}$ , fernana, ursena, friedelana dan oleana) dan steroid ( $13\alpha(H)$ - $17\beta(H)$ -diastereana, 24R-24-metil- $5\alpha(H)$ ,  $14\beta(H)$ ,  $17\beta(H)$ -kolestana dan 24-etil-diakolest-13(17)-ena). Kelompok biomarka aromatik memiliki sebaran senyawa homolog podokarpatriena ( $C_{29}$ - $C_{32}$ ) dan senyawa triaroursana. Sedangkan kelompok biomarka poliaromatik ditemukan senyawa diarourboran (renawati, 2006). Karakter biomarka tersebut memberikan informasi, yaitu sumber masukan bahan organik batubara berasal dari tanaman tingkat tinggi dan sedikit sianobakteri, batubara masih relatif muda serta proses pembentukan batubara terjadi akibat aktivitas bakteri (Renawati, 2006).



Selain karakter biomarka batubara terdapat pula karakter geokimia organik dari produk pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan. Karakter produk pencairan batubara ini didapatkan melalui penelitian pencairan terhadap batubara sub-bituminus Sumatera Selatan dengan menggunakan temperatur 450 °C dan tekanan 12 MPa selama 60 menit. Pada penelitian ini karakter produk pencairan batubara terbagi menjadi empat kelompok, yaitu karakter alifatik nafta, alifatik LO, aromatik nafta dan aromatik LO. Kelompok alifatik nafta memiliki karakter berupa senyawa *n*-alkana ( $C_9$ - $C_{16}$ ), alkana bercabang ( $C_8$ - $C_{10}$ ) dan alkilsikloheksana ( $C_8$ - $C_{14}$ ). Kelompok alifatik LO memiliki karakter berupa senyawa *n*-alkana ( $C_{10}$ - $C_{28}$ ), alkana bercabang ( $C_{13}$ - $C_{14}$ ), seskuiterpen (transkadinan) dan alkilsikloheksana ( $C_{11}$ - $C_{17}$ ). Kelompok aromatik nafta memiliki karakter berupa senyawa monoalkilbenzena ( $C_8$ - $C_{10}$ ), dialkilbenzena ( $C_9$ - $C_{11}$ ), trialkilbenzena ( $C_{10}$ - $C_{12}$ ) serta naftalena dan turunannya (naftalena, metil- dan etil-naftalena). Kelompok aromatik LO memiliki karakter berupa senyawa monoalkilbenzena ( $C_{10}$ ), dialkilbenzena ( $C_9$ - $C_{13}$ ), trialkilbenzena ( $C_{10}$ - $C_{12}$ ), kadalena (kadalena), naftalena dan turunannya (naftalena serta metil-, etil-, dimetil- dan butil-naftalena), fenantrena dan turunannya (fenantrena serta metil-, etil-, butil-, dimetil- dan pentil-fenantrena) dan pirena (pirena).

Kedua karakter batubara, yaitu karakter biomarka batubara dan karakter produk pencairan batubara memiliki korelasi berupa senyawa organik yang terkandung. Hal ini karena batubara memiliki makromolekul batubara yang sama. Proses pencairan batubara yang dilakukan pada suhu dan tekanan hidrogen yang tinggi mengakibatkan senyawa-senyawa biomarka yang ditemukan dalam ekstrak batubara sub-bituminus Sumatera Selatan terdegradasi menjadi senyawa dengan berat molekul kecil. Senyawa-senyawa yang memiliki stabilitas termal rendah akan terdegradasi menjadi senyawa yang memiliki berat molekul kecil. Senyawa-senyawa ini

identik dengan komponen penyusun bahan bakar cair dan merupakan karakter dari produk pencairan batubara sub-bituminus Sumsel.

Senyawa *n*-alkana rantai panjang dan asam lemak berpotensi menjadi prekursor terbentuknya komponen penyusun bahan bakar cair seperti *n*-alkana ( $C_9$ - $C_{16}$  dan  $C_{10}$ - $C_{28}$ ), alkilsikloheksana ( $C_8$ - $C_{14}$  dan  $C_{11}$ - $C_{17}$ ). Senyawa alkana bercabang, steran ( $5\alpha$ -kolestan), hopan, tetraterpen dan rangkaian trisiklik terpen yang memiliki rantai samping isoprenoid berpotensi menjadi prekursor terbentuknya komponen penyusun bahan bakar cair seperti alkana bercabang ( $C_8$ - $C_{10}$  dan  $C_{13}$ - $C_{14}$ ). Senyawa alkana bercabang rantai panjang,  $5\alpha$ -kolestan dan triterpenoid menjadi prekursor terbentuknya komponen penyusun bahan bakar cair seperti alkilsikloheksana ( $C_8$ - $C_{14}$  dan  $C_{11}$ - $C_{17}$ ). Senyawa steran dan hopan juga berpotensi menjadi prekursor terbentuknya komponen penyusun bahan bakar cair seperti naftalena dan turunannya serta fenantrena dan turunannya.

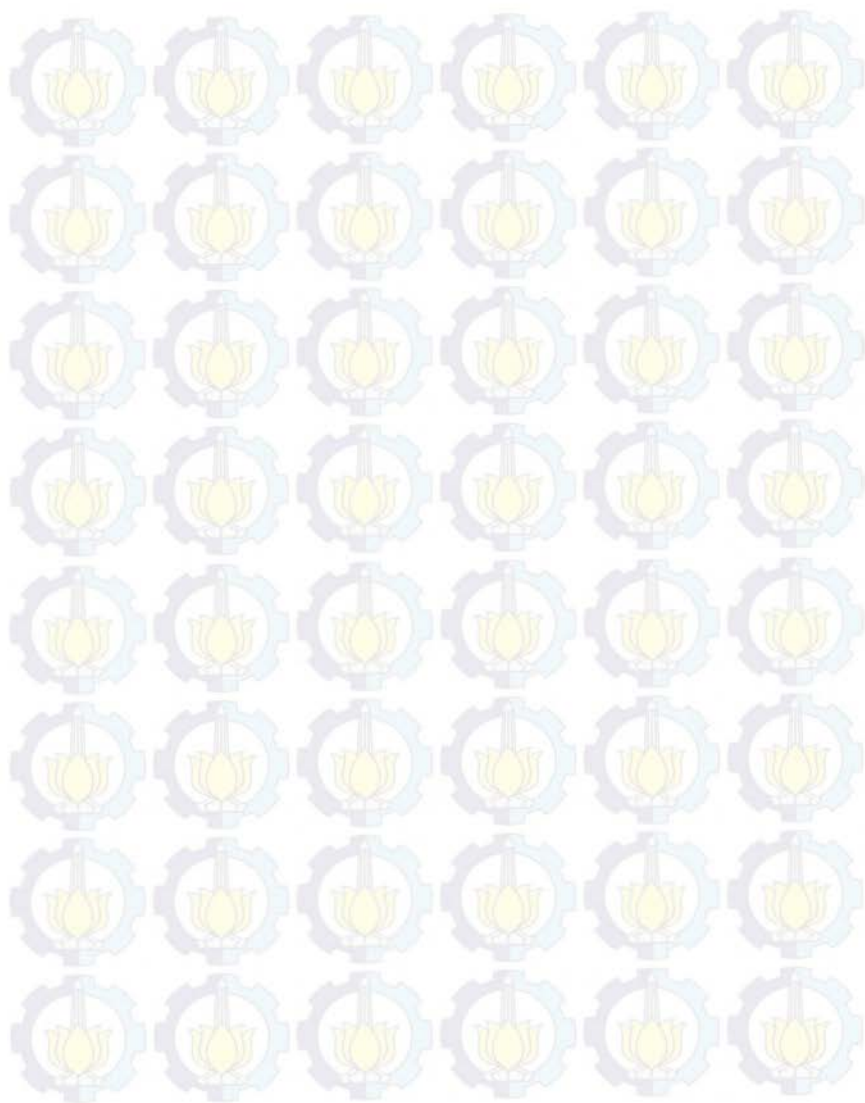
Proses pencairan batubara sub-bituminus Sumsel dilangsungkan dalam AC 1L dengan kondisi menggunakan suhu  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan tekanan 12 MPa selama 60 menit menghasilkan produk cair yang berpotensi sebagai sumber bahan bakar cair berupa fraksi nafta dan *light oil*. Produk nafta diketahui memiliki jumlah lebih banyak daripada *light oil*, sehingga lebih berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan bakar cair. Nafta mengandung senyawa *n*-alkana ( $C_9$ - $C_{16}$ ), alkana bercabang ( $C_8$ - $C_{10}$ ), alkilsikloheksana ( $C_8$ - $C_{14}$ ), monoalkilbenzena ( $C_8$ - $C_{10}$ ), dialkilbenzena ( $C_9$ - $C_{11}$ ), trialkilbenzena ( $C_{10}$ - $C_{12}$ ) serta naftalena dan turunannya (naftalena, metil- dan etil-naftalena) berpotensi sebagai bahan dasar penyusun bahan bakar bensin atau gasolin. *Light oil* mengandung senyawa *n*-alkana ( $C_{10}$ - $C_{28}$ ), alkana bercabang ( $C_{13}$ - $C_{14}$ ), seskiterpen (transkadinan), alkilsikloheksana ( $C_{11}$ - $C_{17}$ ), monoalkilbenzena ( $C_{10}$ ), dialkilbenzena ( $C_9$ - $C_{13}$ ), trialkilbenzena ( $C_{10}$ - $C_{12}$ ), kadalena (kadalena), naftalena dan turunannya (naftalena serta

metil-, etil-, dimetil- dan butil-naftalena), fenantrena dan turunannya (fenantrena serta metil-, etil-, butil-, dimetil- dan pentil-fenantrena) dan pirena (pirena) berpotensi sebagai bahan dasar penyusun bahan bakar kerosin atau bahan bakar jet (*avtur*).

Berdasarkan pada data diatas dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi antara komposisi biomarka batubara sub-bituminus dengan produk hasil pencairan (karakter produk pencairan), yaitu biomarka batubara sub-bituminus menjadi prekursor dalam proses dekomposisi termal. Hasil yang didapatkan selama dekomposisi termal adalah batubara cair yang memiliki kemiripan dengan bahan bakar minyak atau minyak mentah. Sehingga diketahui potensi batubara cair batubara sub-bituminus Sumatera Selatan sebagai senyawa penyusun bahan bakar cair yang lebih sesuai dengan komponen dasar penyusun bahan bakar bensin daripada kerosin. Hal ini karena jumlah produk fraksi nafta yang lebih besar daripada produk fraksi *light oil* (tabel 4.5).



***Halaman ini sengaja dikosongkan***



## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Penelitian potensi produk cair batubara sub-bituminus Sumatera Selatan sebagai bahan bakar minyak dilakukan melalui kajian kimiawi senyawa hidrokarbon penyusunnya. Berdasarkan hasil kajian tersebut diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Pencairan 75.03 gram batubara sub-bituminus Sumatera Selatan menghasilkan produk yang dapat digunakan sebagai bahan bakar sebanyak 63.26 gram (84.82 %) terdiri dari 50.08 gram (66.74 %) produk cair dan 8.56 gram (11.4 %) produk gas ( $C_1$ - $C_4$ ). Produk cair sebanyak 50.08 gram terdiri dari 2.4 gram (3.2 %) nafta, 0.44 gram (0.59 %) *light oil* dan 52.24 gram (69.62 %) produk *middle oil* (tidak dibahas dalam penelitian). Fraksi nafta lebih besar daripada fraksi *light oil*.
2. Komposisi senyawa hidrokarbon yang teridentifikasi dalam fraksi nafta hasil produk pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan terdiri dari *n*-alkana ( $C_9$ - $C_{16}$ ), alkana bercabang ( $C_8$ - $C_{10}$ ), alkilsikloheksana ( $C_8$ - $C_{14}$ ), monoalkilbenzena ( $C_8$ - $C_{10}$ ), dialkilbenzena ( $C_9$ - $C_{11}$ ), trialkilbenzena ( $C_{10}$ - $C_{12}$ ) serta naftalena dan turunannya (naftalena, metil- dan etil-naftalena) berpotensi sebagai bahan dasar penyusun bahan bakar bensin atau gasolin.
3. Komposisi senyawa hidrokarbon yang teridentifikasi dalam fraksi *light oil* terdiri dari senyawa *n*-alkana ( $C_{10}$ - $C_{28}$ ), alkana bercabang ( $C_{13}$ - $C_{14}$ ), seskuiterpen (transkadinan), alkilsikloheksana ( $C_{11}$ - $C_{17}$ ), monoalkilbenzena ( $C_{10}$ ), dialkilbenzena ( $C_9$ - $C_{13}$ ), trialkilbenzena ( $C_{10}$ - $C_{12}$ ), kadalena (kadalena), naftalena dan turunannya (naftalena serta metil-, etil-, dimetil- dan butil-naftalena), fenantrena dan turunannya (fenantrena serta metil-, etil-,

butil-, dimetil- dan pentil-fenantrena) dan pirena (pirena) berpotensi sebagai bahan dasar penyusun bahan bakar kerosin atau bahan bakar jet (*avtur*).

## 5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dapat dilakukan dalam penelitian batubara sub-bituminus Sumatera Selatan selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Analisa terhadap fraksi polar hasil fraksinasi minyak netral dari *light oil*. Fraksi polar mengandung komponen senyawa polar yang merupakan salah satu potensi komponen penyusun bahan bakar cair dan sebagai sumber bahan kimia.
2. Produk pencairan batubara sub-bituminus Sumsel telah diketahui potensinya sebagai bahan cair sehingga perlu upaya lebih lanjut untuk menghitung aspek ekonomi penggunaannya sebagai bahan bakar cair.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akash, Bilal A. . (2013), “Thermochemical Liquefaction of Coal”, *International Journal of Thermal & Environmental Engineering*, **5**, 51-60.
- Amijaya, H. dan Littke, . (2005), “Microfacies and depositional environment of Tertiary Tanjung Enim low rank, South Sumatera Basin, Indonesia”, *International Journal of Coal Geology*, **61**, 197-221.
- Amijaya, H., Schwarzbauer, J. dan Littke, R. (2006) “Organic geochemistry of the lower Suban coal seam South Sumatera basin Indonesia palaeoecological and thermal metamorphism and implications”, *International Journal of Coal Geology*, **37**, 261-279.
- Artanto, Y., Jackson, W.R., Redlicha, P.J. dan Marshalla, M. (2000), “Liquefaction studies of some Indonesian low rank coals”, *Fuel*, **79**, 1333-1340.
- Barber, A.J., M.J. Crow dan J.S. Milson (2005), “Sumatra: Geology, Resource and Tectonic Evolution”, *Geological Society Memoir*, **31**, 142-146.
- Baset, Z.H., Paranov, R.J. dan Ashe, T.R. (1980), Organic compound in coal: Structure and origin. In *Advance in Organic Geochemistry 1979* (edition Douglas A.J. dan Maxwell J.R.), 619-630.
- Borrego, A.G., Blanco, C.G dan Pottman, W. (1997), “Geochemical significance of the aromatic hydrocarbon distribution in the bitumens of the Puertollano oil shales, Spain”, *Org. Geochem*, **26**, No. 3/4, 219-228.
- Brandes, S.D dan Winschel, R.A. (1999), “Coal liquefaction process streams characterization and evaluation, technical progress report”, United States Department of Energy, Contract No. DE-AC22-94PC93054.

- Burhan, R.Y.P. (2006), "Kajian biomarka batubara sub-bituminous Muara Tiga Besar Utara, Sumatera Selatan", *Akta kimia Indonesia*, **1**, 115-122.
- Burkle, V.V., Bounancer, R., Marquaire, P.M., Montel, F. dan Fusetti, L. (2011), "Thermal evolution of n- and iso-alkanes in oils. Part 1: Pyrolysis model for a mixture of 78 alkanes (C<sub>1</sub>-C<sub>32</sub>) including 12, 206 free radical reaction", *Organic Geochemistry*, **42**, 439-450.
- Collins, C. (2007), "Implementing phytoremediation of petroleum hydrocarbons", *Methods in Biotechnology*, **23**, 99-108. Humana Press. ISBN 1588295419.
- Darman, H. dan Sidi, F. H., (2000), *An outline of the geology of Indonesia coal*. Indonesian association of geologists, Jakarta, 254.
- Dechamps, G., (2010), *Crude Oil and Refining*, Lecture handout: Petroleum, Sepuluh Nopember Institute of Technology, Surabaya.
- de las heras, F.X, Grimalit, J. O. dan Albaiges, J., (1991), Novel C – ring cleaved triterpenoid-derived aromatic hydrocarbon in tertiary brown coal, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **55**, 3379-3385.
- Didyk, B.M., Simoneit, B.R.T., Brassel, S.C. dan Eglinton, G. (1978), "Organic geochemical indicators of paleoenvironmental conditions of sedimentation", *Nature*, **272**, 216-222
- Dooley, S., Won, S.H., Chaos, M., Heyne, J., Ju, Y., Dryer, F.L., Kumar, K., Sung, C.J., Wang, H., Oehlsclaeger, M.A., Santoro, R.J. dan Litzinger, T.A. (2010), "A jet fuel surrogate formulated by real fuel properties", *Combustion and Flames*, **157**, 2333-2339.
- Dong, J.Z., Katoh, T., Itoh, H., dan Ouchi, K. (1987), "Origin of Alkanes in coal Extracts and liquefaction products", *Fuel*, **66**, 1336-1346.

- Dong, J.Z. dan Ouchi, K., (1989a), "Geochemical origin of long chain alkylaromatics in coal: 1. Model reaction of fatty acid or alcohol with phenol", *Fuel*, **68**, 710-716.
- Dong, J.Z. dan Ouchi, K., (1989b), "Geochemical origin of long chain alkylaromatics in coal: 2. Model reaction of lignin with alcohol", *Fuel*, **68**, 1354-1357.
- Dong, J.Z., Vornink, W.P. dan Lee, M.I. (1993), "Origin of long chain alkylcyclohexanes and alkylbenzenes in a coal-bed wax", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **57**, 837-849.
- Eglinton, G. dan Hamilton, R.Y. (1967), "Leaf epicuticular waxes", *Science*, **156**, 1322-1335.
- Ekinci, E., Yardim, F., Razvigorova, M., Minkova, V., Goranova, M., Petrov, N. dan Budinova, T. (2002), "Characterization of liquid products from pyrolysis of subbituminous coals", *Fuel Processing Technology*, **77-78**, 309-315.
- Fowler, M.G., Abolins, P. dan Douglas, A.G. (1986), "Monocyclic alkanes in ordovician organic matter", *Organic Geochemistry*, **10**, 815-823.
- Gafoer, S. dan Purbohadiwidjoyo M.M. (1986), "The Geology of Sumatra and its bearing on the occurrence of mineral deposits", Buletin Geological Research and Development Centre, Bandung, **12**, 15-30.
- Gao, Z., Liu, L., Zhu, X. dan Li, W. (2008), "The composition analysis of coal-derived light oil", *Journal of Sciences & Engineering*, **14**, 136-139.
- Gelpi, E., Schneider, H., Mann, J. dan Oro, T., (1970), "Hydrocarbons of geochemical significance in microscopic algae", *Phytochemistry*, **9**, 603-612.
- Hirano, K. (2000), "Outline of NEDO coal liquefaction process development pilot plant program", *Fuel Processing Technology*, **62**, 109-119.
- Jones, D.W., Pakdel, H. dan Bartle, K.D. (1982), "Cyclic alkanes as geochemical markers in coal liquefaction product", *Fuel*, **61**, 44-51.

- Khopkar, S.M. (2003), *Konsep Dasar Kimia Analitik*, UI-Press, Jakarta.
- Killops, S.D. dan Killops, V.J. (1993), *A Introduction to organic geochemistry*, Longman Group UK Ltd., England.
- Kissin, Y.V. (1987), "Catagenesis and composition of petroleum: Origin of *n*-alkanes and isoalkanes in petroleum crudes", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **51**, 2445-2451.
- Kissin, Y.V. (1990), "Catagenesis of light cycloalkanes in petroleum", *Organic Geochemistry*, **15**, 575-594.
- Komori, Y., Itoh, H. dan Ouchi, K. (1990), "Analysis of *n*-hexane extract and hydrogenolysis of Yallourn brown coal: Evidence for a proposed coalification model" *Fuel*,
- Koopmans, M.P., Marin, P., de Leeuw, J.W. dan Sinninghe Damste, J.S. (1997), "Novel cyclized and aromatized diagenic products of beta-carotene in the Green River shale", *Organic Geochemistry*, **26**, 451-466.
- Korosi, A., Woebecke, H.N. dan Virk, P.S. (1976), "Pyrolysis of hydrogenated coal liquid", *Energy Fuels*, **21**, 190-197.
- Kouzu, M., Saegusa, H., Hayashi, T., Nishibayashi, T., Kobayashi, M., Itoh, H. dan Hattori, H. (2000), "Effect of solvent hydrotreatment on product yield in the coal liquefaction process", *Fuel Processing Technology*, **68**, 237-254.
- Kvenvolden, K.A. (2008), "Origin of organic geochemistry", *Organic Geochemistry*, **39**, 905-909.
- Li, X., Hu, H., Jin, L., Hu, S. dan Wu, Bo., (2008), "Approach for promoting liquid yield in direct liquefaction of Shenhua coal", *Fuel Processing Technology*, **89**, 1090-1095.
- Maholtra, R. dan McMillen, D.F. (1993), "Relevance of cleavage of strong bonds in coal liquefaction", *Energy & Fuel*, **12**, 897-904.
- Miller, B.G. (2005), *Coal Energy System*, Elsevier Academic Press, California, USA.
- Najamuddin, M. (2011), "Korelasi karakter geokimia organik batubara *medium rank* Kalimantan Timur dengan produk pencairan", Jurusan Kimia-ITS, Surabaya.

- Noble, R.A., Wu, C.H. dan Atkinson, C.D. (1991), "Petroleum generation and migration from Talang Akar coals and shales offshore N.W. Java, Indonesia", *Organic Geochemistry*, **10**, 363-374.
- Oros, D.R. dan Simoneit, B.R.T. (2000), "Identification and emission rates of molecular traces in coal smoke particular matter", *Fuel*, **79**, 515-536.
- Ostroukhovs, B., Arefyev, O.A., Pelstilnikova, S.D., Zabroding, M.N. dan Petrov, A.A. (1983), "C<sub>12</sub>-C<sub>30</sub> *n*-alkylbenzenes in crude oils", *Petroleum Chemistry USSR*, **23**, 1-12.
- Pereira, R.C.C. dan Pasa, V.M.D. (2006), "Effect of mono-olefins and diolefins on stability of automotive gasoline". *Fuel*, **85**, 1860-1865.
- Peters, K.E. dan Moldowan, J.M. (1993), *The Biomarker Guide*, Prentice Hall, New Jersey.
- Philp, R.P. (1985), "Fossil fuel biomarkers, application and spectra", Elsevier Science Publisher, New York.
- Philp, R.P. (1986), "Geochemistry in the Search for Oil", *Chemical & Engineering News*, **10**, 28-43.
- Philp, R.P. dan Oung, J.N. (1988), "Biomarkers: occurrence, utility and detection", *Analytical Chemistry*, **60**, 887-896.
- Tim Kajian Nasional, Kelompok Kajian Kebijakan Mineral dan Batubara, Pusat Litbang Teknologi Mineral dan Batubara, (2006), Batubara Indonesia (online), (<http://potensibatubara.com>, diakses 14 April 2012)
- Radke, M., Garrigues, P. dan Willsch, H. (1990), "Methylated dicyclic and tricyclic aromatic hydrocarbons in crude oils from the Handil field, Indonesia", *Org. Geochem*, **15**, No.1, 17-34.
- Renawati, R. N. (2006), "Karakterisasi biomarka batubara sub bituminus Sumatra Selatan", Jurusan Kimia-ITS, Surabaya.
- Robbins, G.A., Brandes, S.D., Winschel, R.A. dan Burke, F.P. (1992), CONSOL, Quarterly Technical Progress Report,



- October 1-Desember 31, 1991. DOE Contract No.DE-AC22-89PC89883.
- Rudnick, L.R. dan Tueting, D. (1984), "Investigation of free radicals produced during coal liquefaction using ESR", *Fuel*, **63**, 153-157.
- Shah, Y.T. (1981), Reaction engineering in direct coal liquefaction, Massachusett: Addison-Wesley Publising Company.
- Shinn, J.H. (1984), "From coal to single-stage and two-stage products: a reactive model of coal structure", *Fuel*, **63**, 1187-1196.
- Silva, M. B. dan Kalkreuth, W., (2005), "Petrological and geochemical characterization of Candiota coal seams, Brazil – Implication for coalfacies interpretation and coal rank", *International Journal of Coal Geology*, **64**, 217-238.
- Silverstein, R. M. dan Webster, F. X. (1998), Spectrometric Identification of Organic Compounds , Sixth Edition, John Willey and Sons, Inc., New York.
- Simoneit, R.B.T. (1990), "Diterpenoid compound and other lipid in deep-sea sediment and their geochemical significance", *Geochimica et Cosmochimica Acta*. **41**, 463-476.
- Speight, J.G. (1980), *The Chemistry and Technology of Petroleum*. Marcel Dekker, New York, 60-64.
- Speight, J.G. (1991), *The Chemistry and Technology of Petroleum 2<sup>nd</sup>*, Marcel Dekker, Inc., New York.
- Starchan, M.G., Alexander, R. dan Kagi, R.I. (1989), "A comparison of selected biological marker compounds in some natural and synthetic liquid fuels", *Fuel*, **68**, 641-647.
- Stout, S.A. (1992), "Aliphatic and aromatic triterpenoid hydrocarbons in tertiary angiospermae lignite", *Organic Geochemistry*, **18**, 51-66.
- Sukandarrumidi (1995), Batubara dan Gambut, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.

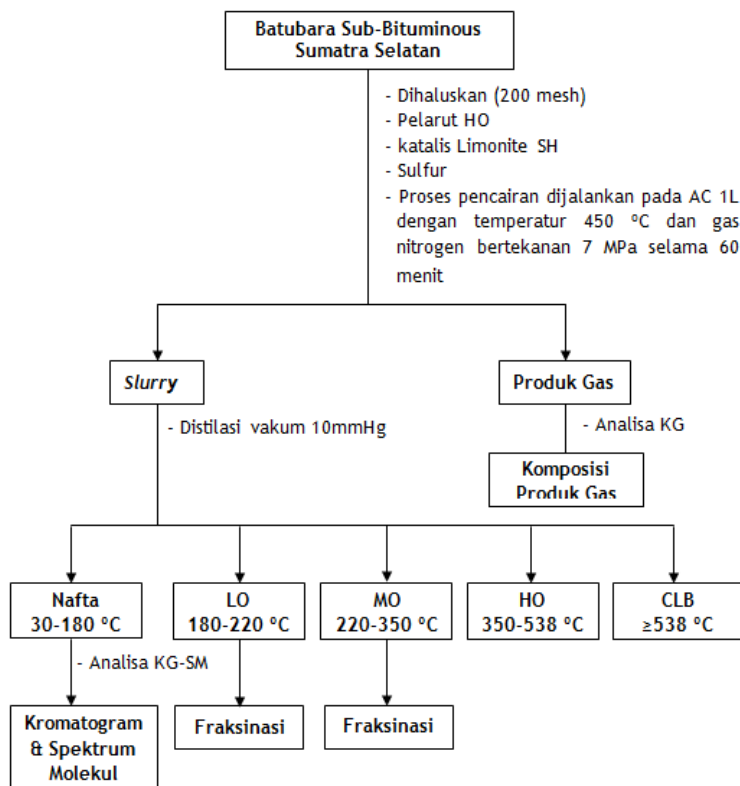
- Tancell, P.J., Rhead, M.M., Pemberton, R.D. dan Braven, J. (1996), "Diesel combustion of an alkylated polycyclic aromatic hydrocarbon", *Fuel*, **75**, 717-723.
- Tissot, B.P. dan Welte, D.H. (1984), *Petroleum formation and occurrence*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Tuo, J., Wang, X., Chen, J. dan Simoneit, B.R.T. (2003), "Aliphatic and diterpenoid hydrocarbons and their individual carbon isotope composition in coals from Liaohe Basin, China" *Organic Geochemistry*, **34**, 1615-1625.
- Ulfa, E.D. (2011), "Kajian geokimia organik produk pencairan batubara *low rank* Kalimantan Timur", Jurusan Kimia-ITS, Surabaya.
- van Aarssen, B.G.K., Cox, H.C., Hoogendoorn, P. dan De Leeuw, J.W. (1990), "A cadinene biopolymer present in fossil and extant dammar from Shoutheast Asia", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **54**, 3021-3031.
- Vernom, L.W. (1980), "Free radical chemistry of coal liquefaction rule of molecular hydrogen", *Fuel*, **59**, 66-71.
- Wang, T.G. dan Simoneit, B.R.T. (1990), "Organic geochemistry and coal petrology of tertiary brown coal in the Zhoujing mine: Baise Basin, South China", *Fuel*, **109**, 12-20.
- Wang, Z., Shui, H., Zhang, D. dan Gao, J. (2007), "A comparison of FeS, FeS+S and solid superacid catalytic properties for coal hydro-liquefaction", *Fuel*, **86**, 835-842.
- White, C.M., Shultz, J.L. dan Sharkey Jr, A.G. (1977), "Biological markers in coal and coal liquefaction products", *Nature*, **268**, 620-622.
- Widodo, S., Bechtel, A., Anggayana, K. dan Puttman, W. (2009), "Reconstruction of floral changes during deposition of the miocene embalut coal from Kutai Basin, Mahakam Delta, East Kalimantan, Indonesia by use of aromatic hydrocarbon composition and stable carbon isotope ratios of organic matter", *Organic Geochemistry*, **40**, 206-218.

- Yoshida, T., Tokushashi, K. dan Meekawa, Y. (1985), "Liquefaction Reaction of coal I. Depolymerization of coal by cleavage of ether and methylene bridges", *Fuel*, 64, 890-901.
- Zhao, S. Q., Zhong, N. N., Xiong, B. dan Simonet, B. R. T., (1990), "Organik geochemistry and coal petrology of tertiary brown coal in the Zhouying mine, Baise basin, South China. 1. Occurrence and significance of exudatinite", *Fuel*, **69**, 4-11.
- Zhou, P.Z., Marano, J.J. dan Winschel, R.A. (1992), "Strategic considerations of coal liquid refining", *American Chemical Society. Division of Fuel Chemistry Preprint*, **37**, 1874-1854.

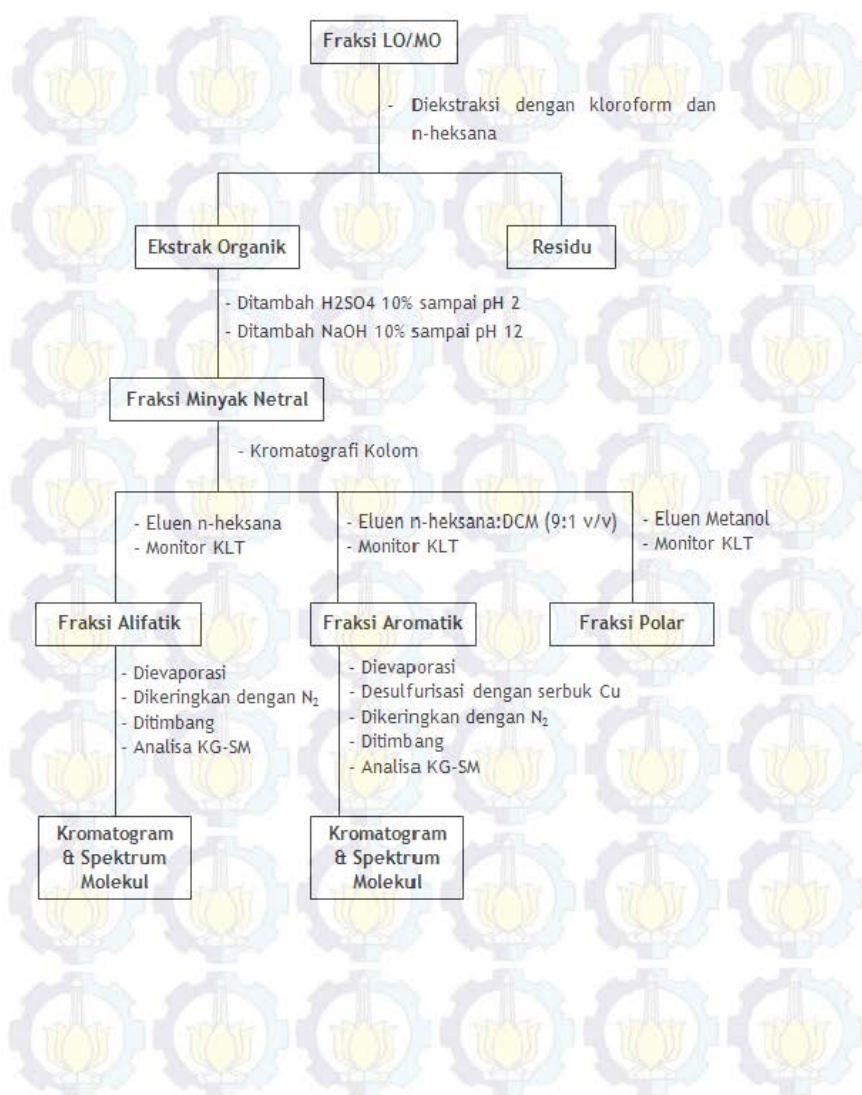
## Lampiran 1

### SKEMA KERJA

#### 1. Pencairan Batubara Subbituminus Sumatera Selatan



## 2. Fraksinasi Minyak Fraksi *Light Oil* (LO)



## Lampiran 2

### PERHITUNGAN PRODUK PENCAIRAN BATUBARA SUB-BITUMINUS SUMATERA SELATAN

1. Perhitungan gas H<sub>2</sub> yang dibutuhkan dalam proses pencairan

<i>Volume gas in AC</i>	0.837	Liter
<i>Initial pressure</i>	7.00	MPa
<i>Room temperatur</i>	30.2	deg. C
<i>Flow rate</i>	99.120	L

$$\begin{aligned}
 \text{Hydrogen feed} &= \frac{\text{flow rate} \times 273}{273 + \text{room temperatur}} + \text{volume of gas in AC} \\
 &= \frac{99.120 \times 273}{273 + 30.2} + 0.837 \\
 &= \frac{27059.76}{303.2} + 0.837 \\
 &= 90.084 \text{ NL}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa gas hidrogen} &= \frac{\text{hidrogen feed} \times \text{BM H}_2}{22.4} \\
 &= \frac{90.084 \times 2.0158}{22.4} \\
 &= 8.1068 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ H}_2 \text{ dalam berat daf} &= \frac{\text{massa H}_2}{\text{massa daf}} \times 100\% \\
 &= \frac{8.1068}{61.45} \times 100\% \\
 &= 13.19\%
 \end{aligned}$$

## Hasil Analisa Kromatografi Gas (KG)

Gas Type	Data of GC (% vol)	Revision (Vol)	Volume (NL)	Weight (g)
H <sub>2</sub>	77.010	80.46 %	39.201	3.528
CO	0.889	0.93 %	0.452	0.566
CO <sub>2</sub>	0.496	0.52 %	0.253	0.496
CH <sub>4</sub>	11.543	12.06 %	5.876	4.208
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	n.d	0.00 %	0.000	0.000
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	3.476	3.63 %	1.769	2.375
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1.826	1.91 %	0.930	1.830
i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.000	0.00 %	0.000	0.000
n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.110	0.12 %	0.056	0.146
H <sub>2</sub> S	0.360	0.38 %	0.183	0.279
Total	95.710	100.00	48.720	13.427

Konsumsi gas H<sub>2</sub> = umpan H<sub>2</sub> – H<sub>2</sub> pada GC  
 = 8.1068 – 3.528  
 = 4.5788 gram

Produk gas dari batubara = CO + CO<sub>2</sub> + C<sub>1</sub> + C<sub>2</sub> + C<sub>3</sub> + C<sub>4</sub>  
 = 0.566 + 0.496 + 4.208 + 2.375 +  
 1.830  
 + 0.146  
 = 9.621 gram

## Produk Gas Total

Gas Type	Weight (g)	%w/w daf
CO	0.566	0.92
CO <sub>2</sub>	0.496	0.80
CH <sub>4</sub>	4.208	6.85
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0	0.00
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	2.375	3.86
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1.830	2.98
i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0	0.00
n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.146	0.24
daf		

$$\begin{aligned}\% \text{ daf CO} &= \frac{0.566}{61.45} \times 100\% \\ &= 0.92 \% \text{w/w daf}\end{aligned}$$

Harga % daf untuk gas CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, i-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> dan n-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> dihitung dengan cara yang sama.

2. Jumlah batubara, pelarut, katalis dan belerang dalam proses pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan

a. batubara

	Abu	H <sub>2</sub> O	Belerang	Daf
Cons (%W)	3.26	14.84	38.80	81.90
Berat (g)	2.45	11.13	29.11	61.45
Umpan	75.03			

$$\begin{aligned}\text{Berat abu} &= \% \text{ W} \times \text{umpan batubara} \\ &= 3.26 \% \times 75.03 \\ &= 2.45 \text{ gram}\end{aligned}$$

Berat H<sub>2</sub>O, belerang dan daf dihitung dengan cara yang sama.

b. Pelarut heavy oil

	H <sub>2</sub> O	LO	MO	HO	CLB
Cons (%W)	0.00	0.66	14.85	79.43	0.00
Berat (g)	0.00	0.95	21.42	114.56	0.00
Umpan	136.93				

c. CLB

	CLB (org)	Abu	Fe dalam CLB
Cons (%W)	80.45	19.55	0.00
Berat (g)	0.00	0.00	0.00
Umpan	0.00		



## d. CAT

- Sebelum reaksi

	Pelarut	Padatan	FeOOH (s)	Fe	S
Cons (%W)	69.98	30.02	0.00	46.96	0.00
Berat (g)	3.14	1.34	0.00	0.63	0.74
Limonit SH (umpan slurry)	4.48				
Belerang	0.74				

## Pelarut dalam katalis

	H <sub>2</sub> O	LO	MO	HO	BTM
Cons (%W)	0.00	0.66	14.85	79.43	0.00
Berat (g)	0.00	0.02	0.47	2.49	0.00

- Setelah reaksi

	FeS	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> S	<i>others</i>
Berat (g)	0.99	0.41	0.40	2.34

Jumlah umpan yang dimasukkan dalam AC 1L

Komposisi	Umpan (g)				
	Batubara Sub-bituminus	Pelarut HO	Katalis Limonit SH	Belarang	Gas H <sub>2</sub>
H <sub>2</sub> O	11.13		0.41		11.54
Abu	2.45				2.45
Dafc	61.45				61.45
LO		0.95	0.02		0.97
MO		21.42	0.47		21.89
HO		114.56	2.49		117.05
CLB			0.00		0.00
Fe			0.63		0.63
<b>Total (g)</b>	<b>75.03</b>	<b>136.93</b>	<b>4.02</b>	<b>0.74</b>	<b>221.29</b>

Berat umpan awal selain batubara (a)

$$\begin{aligned}
 &= \text{pelarut} + \text{katalis} + \text{belerang} + \text{gas H}_2 \\
 &= 136.14 + 4.02 + 0.74 + 4.5788 \\
 &= 145.48 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Berat umpan selain batubara yang membentuk gas (b)

$$\begin{aligned}
 &= \text{belerang} + \text{gas H}_2 \\
 &= 0.279 + 3.528 \\
 &= 3.807 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Berat umpan total awal membentuk *slurry*

$$\begin{aligned}
 &= \text{batubara} + \text{pelarut} + \text{katalis} + \text{belerang} + \text{gas H}_2 \\
 &= 75.03 + 136.14 + 4.02 + 0.74 + 4.5788 \\
 &= 220.51
 \end{aligned}$$

Berat *slurry* total setelah tes = umpan total - gas total

$$\begin{aligned}
 &= 220.51 - 9.621 \\
 &= 210.89 \text{ g (teoritis)}
 \end{aligned}$$

Berat *slurry* selain batubara = berat (a) – berat (b)

$$\begin{aligned}
 &= 145.48 - 3.807 \\
 &= 149.287 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Produk cair (*slurry*) terukur = 203.9 g (eksperimen)

Produk cair (*slurry*) tertampung = 165.3 g

$$\% \text{ Rendemen} = \frac{\text{berat } slurry \text{ eksperimen}}{\text{berat } slurry \text{ teoritis}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{203.9}{210.89} \times 100\% \\
 &= 96.68 \%
 \end{aligned}$$

Berat produk cair (*slurry*) batubara

$$\begin{aligned}
 &= \text{berat } slurry \text{ total} - \text{berat } slurry \text{ selain batubara} \\
 &= 203.9 - 149.287 \\
 &= 54.613 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ berat } slurry &= \frac{54.613}{75.03} \times 100\% \\
 &= 72.79 \%
 \end{aligned}$$

3. Produk cair hasil destilasi vakum 10 mmHg dari *slurry* total

Produk Fraksinasi	Jumlah	
	Berat (g)	% wt
H <sub>2</sub> O	15.2	9.19
Naptha	2.4	1.45
LO	1.1	0.67
MO	58.1	35.15
HO	65.2	39.44
CLB	23.3	14.1
<b>Total</b>	<b>165.3</b>	<b>100</b>

- % berat hasil destilasi *slurry*

$$\begin{aligned}\%W \text{ H}_2\text{O} &= \frac{15.2}{165.3} \times 100\% \\ &= 9.19 \%\end{aligned}$$

Harga prosentase nafta, LO, MO, HO dan CLB dihitung menggunakan cara yang sama.

- Berat (w) hasil destilasi *slurry*

$$\begin{aligned}\text{H}_2\text{O} &= \frac{9.19 \times 210.89}{100} - 11.54 \\ &= 7.84 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\text{Nafta} = 2.4 \text{ g}$$

$$\text{LO} = \frac{0.67 \times 210.89}{100} - 0.97$$

$$= 0.44 \text{ g}$$

$$\text{MO} = \frac{35.15 \times 210.89}{100} - 21.89$$

$$= 52.24 \text{ g}$$

$$\text{HO} = \frac{39.44 \times 210.89}{100} - 117.05$$

$$= -33.87 \text{ g}$$

$$\text{CLB} = \frac{14.1 \times 210.89}{100} - 4.17$$

$$= 29.73 \text{ g}$$

Produk pencairan batubara sub-bituminus Sumatera Selatan

Produk Pencairan	Berat (g)	% wt
Produk cair:		
a. H <sub>2</sub> O	7.84	10.45
b. Naptha	2.4	3.2
c. LO	0.44	0.59
d. MO	52.24	69.62
e. HO	-33.87	-45.14
f. CLB	29.73	39.62
<b>Sub Total</b>	<b>58.78</b>	<b>78.34</b>
Produk Gas:		
a. CO+CO <sub>2</sub>	1.06	1.41
b. C <sub>1</sub> -C <sub>4</sub>	8.56	11.41
<b>Sub Total</b>	<b>9.62</b>	<b>12.82</b>
<b>Total</b>	<b>68.4</b>	<b>91.16</b>
<b>Berat yang tidak terukur</b>	<b>6.63</b>	<b>8.84</b>
<b>Total sample</b>	<b>75.03</b>	<b>100</b>

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Banyumas, 7 Agustus 1990 sebagai anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri 22 Sidoarjo, SMP Negeri 2 Sidoarjo dan SMA Negeri 1 Porong. Setelah lulus dari SMA Negeri 1 Porong, penulis diterima di jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SNMPTN dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP. 1408100081. Penulis aktif dalam organisasi jurusan HIMKA, CIS, kegiatan kompetisi karya tulis (PKM), seminar, pelatihan dan sebagai asisten dosen pada praktikum Kimia Dasar dan Kimia Organik. Penulis sempat menempuh kerja praktek di PT PERTAMINA RU-IV Cilacap. Penulis menempuh studi di jurusan Kimia FMIPA dengan mengambil tugas akhir pada bidang Kimia Geokimia Molekuler khususnya dibidang batubara. Penulis menerima pertanyaan, kritik, saran dan diskusi melalui surat elektronik dengan alamat [y091pratomo@gmail.com](mailto:y091pratomo@gmail.com).